

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500091

研究課題名(和文)大規模災害に対するレジリエンスを強化するためのネットワーク機能自律回復技術

研究課題名(英文)Autonomous recovery technology to strengthen Resilience for large-scale disaster

研究代表者

高野 知佐(Takno, Chisa)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：60509058

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：情報ネットワークは極めて重要な社会基盤であり、大規模災害による壊滅的な被害を受けた場合であっても、迅速に機能回復が行われる「レジリエンス性」を確保することが望ましい。本研究では、(1) 大災害直後の混沌とした状態からのネットワーク秩序回復技術、および(2) 高度なネットワーク機能のレジリエンスを確保する技術の確立という二つの観点から無線端末、有線機器を含めた総合的なネットワーク機能回復技術およびネットワーク性能向上技術を検討した。評価実験の結果、提案技術は有効であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Information network is extremely important for the social infrastructure. Therefore, it is desirable to assure "resilience" that is the ability to provide an acceptable level of network service quickly, even if information network suffers crushing damage by the large-scale disaster. From the two viewpoints, (1) Recovery technology of network system from a chaotic state just after crushing damage (2) Assurance technology for resilience of advanced network functions, we considered new network function recovery technologies and network performance enhancement technologies. We found that our proposed methods can obtain higher performance from results of evaluation experiments.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：モバイルネットワーク 自律分散制御技術

1. 研究開始当初の背景

大規模災害の発生等により特定の地域に壊滅的な被害を被った場合、ネットワークインフラも深刻な被害を受けると予想される。3.11 の震災に対する復旧活動でも明らかになったように、円滑な災害復旧活動を支援するためには円滑な情報流通が不可欠であり、このためにはネットワーク機能がいち早く回復することが必要である。大規模災害時には、通信機器の破損・水没、通信路の切断、電源の喪失などの要因により、ネットワーク機能は設計時の性能を発揮できなくなる可能性がある。このとき、残存機器を活用して素早くネットワークを再構成する必要があるが、以下のような課題が挙げられる。

- (1) 設計時に想定していた通信相手(サーバ等)と通信できないこと(機器の故障、リンク切断)による再構成手順への影響、
- (2) 平常時のリンク帯域やサーバの情報処理性能に比べて著しく性能が劣化することによる再構成手順への影響、
- (3) 被害状況報告等の情報が同時発生することに伴う制御情報輻輳による再構成手順への影響、である。つまり、災害直後はネットワークの被災状況がわからず極めて混沌とした状態に陥っているため、平常時の環境で設計したプロトコルの動作条件を満たしておらず、ネットワーク機能回復が迅速に行われない可能性がある。この問題を回避するためには、混沌とした状態から早期に秩序状態を回復し、ネットワーク機能を回復するプロトコルが動作できる状況を作り出す必要がある。

2. 研究の目的

本研究における技術課題は、ネットワークの混沌状態から迅速に秩序を回復(ネットワーク機能の再構成)し、ネットワーク機能回復のプロトコル動作を円滑に進めることを目的としたメタプロトコルを実現することにある。ここで、再構成するネットワーク機能として経路制御、負荷分散などを想定している。また、通信インフラの存在が無くても情報交換が可能なアドホックネットワークの仕組みも考慮し、有線・無線の混在したネットワーク環境を対象とする。残存機器によって混沌状態から迅速に秩序回復を行うためには、ネットワーク機能に極力依存しない手段を用いた技術が必要になる。このため、検討するメタプロトコルには、サーバの存在を必要とせず、隣接のノード間のみの通信で動作する自律分散的な動作原理が必要である。申請者はこれまで、類似技術に比べて数十倍高速な収束速度を持つ自律分散ネットワーク制御技術を検討してきた。

本研究では、この技術知見を利用し、壊滅状況化でも残存機器のみでネットワーク機能を迅速に自律回復するレジリエンス機構を実現する。

3. 研究の方法

大災害時の壊滅状況化でも残存機器のみでネットワーク機能を迅速に自律回復するレジリエンス機構を実現する。そのため、課題(1)大災害直後の混沌とした状態からのネットワーク秩序回復技術、および課題(2)高度なネットワーク機能のレジリエンスを確保する技術の確立を目指す。最初の課題は、大災害直後の混沌とした状態でも機動的な情報交換が可能なアドホックネットワークを対象とし、ネットワーク秩序を迅速に回復するための技術を検討する。2つめの課題に対しては、より高度なネットワーク機能回復をめざし、無線端末、有線機器を含めた総合的なネットワーク機能回復技術を確立する。

4. 研究成果

本研究では3. で示した課題(1)(2)に関して次の様な成果を得た。

課題(1) 大災害直後の混沌とした状態からのネットワーク秩序回復技術

災害時において、円滑な災害復旧活動を支援するためにはネットワーク機能がいち早く回復することが必要である。この課題に対し、アドホックネットワークを主体としたネットワークが有用であり、特にネットワークの負荷分散を目的としたクラスタ形成技術に焦点を当てる。本研究で提案した自律分散構造形成技術により、他の自律分散クラスタ方式よりも時定数で30倍以上高速な収束速度を実現することが分かった。またノード群の移動に伴うネットワーク同士の離合集散などの大規模なネットワーク構造の変化に対して、漸近安定性を保証する技術を提案し、長時間安定した構造を作りだすことができることを確認した。

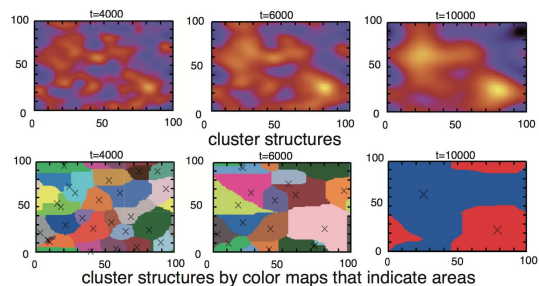


図1：自律分散クラスタリング例

大規模な災害は発生した場合に、ネットワークインフラに依存しないアドホックネットワークは、災害時であってもネットワークを構築して通信を実現できる可能性がある。一般的にアドホックネットワークを構成するノードは電源を持たず、バッテリーで駆動するノートパソコンやスマートフォンなどの端末である。ノードの消費電力を抑えなければ、アドホックネットワークを構成する多くのノードがバッテリー切れになり、その結果として非常に疎なネットワーク構造となる。この解決策の1つとして、端末の通信可能距離を最小限に抑えることが考えられる。

が、通信可能距離の抑制は、アドホックネットワーク内に存在する端末の通信到達性の低下につながる。全ての端末が情報を送受信する環境を作り出すことと、可能な限りネットワークの消費電力を抑えることはトレードオフの関係にあるが、「通信到達性の確保」と「ネットワークの長寿命化」の両立を実現することはアドホックネットワークにおける重要な課題である。この問題を解決するために、端末数を考慮した通信到達性の確保と端末の低消費電力を両立する通信半径の導出方法を示し、実際の通信環境を考慮した上で、通信半径に対しての電力消費量と Goodput の関係を調査した。その結果、提案方式から通信半径を見積もると、省電力化と高い Goodput を両立することが可能であると分かった。またアドホックネットワークにおける電力消費抑制効果を目的とした自律分散クラスタリングにおいて、階層化ルーティングを考慮した評価を行い、スループットおよび消費電力において非常に有効であることを示した。

災害時において、気球やヘリコプターなどの浮遊物にアクセスポイント AP を取り付けて、避難所周辺や災害現場などへ移動させるなど、適当な位置に AP を移動させる技術が注目されている。本課題では、災害時における限られた資源の中で、出来る限りのスループット向上を目指し、モバイル AP とユーザが協調移動する AP 選択法の提案を行った。特性評価の結果、より現実的な環境を想定した場合においてもシステムのスループットが飛躍的に向上することを示した。

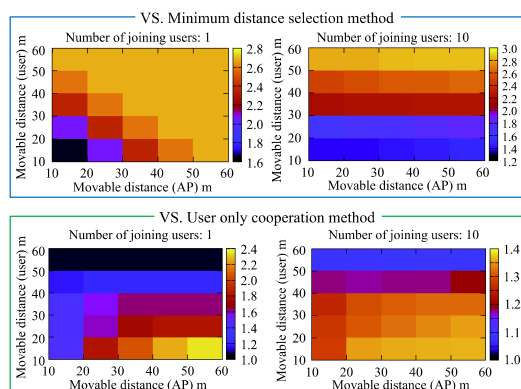


図 2：モバイル AP とユーザが協調移動する AP 選択法の効果

課題(2) 高度なネットワーク機能のレジリエンスを確保する技術

提案する自律分散構造形成技術によって形成されたクラスタ上でデータのルーティング（階層ルーティングの一種である Hi-TORA を利用）を行い、その時の消費電力、及びデータの情報収集能力について評価した。その結果、他の自律分散クラスタリングと比べて、ネットワークの生存時間、および Sink ノードが受信した総データ量の点において優位であることを確認した。

ネットワーク機能のレジリエンスを確保する上で、スループットの予測は重要な課題である。本研究では端末の分布を考慮したマルチレート環境における AP の高速スループット予測法を提案し、ネットワークシミュレータ NS2 を用いてマルチレート環境において測定されたスループットと提案方式で得られる予測法とを比較評価した。その結果、予測されたスループットはシミュレーション値と比べて非常に近い値を実現することを確認した。

無線 LAN 環境において、データフレームの衝突を回避することで合計スループットの向上を目指した結合振動子の同期現象に基づく MAC 制御方式を提案し、既存の MAC 制御方式との比較を行った。その結果、提案方式は既存方式と比べ、AP アクセス時における衝突が大幅に減少し、システム全体のスループットが大きく向上することを確認した。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 3 件)

[1]濱本 亮, 高野 知佐, 小畑 博靖, 石田 賢治, “ 端末の分布を考慮したマルチレート無線 LAN 環境のアクセスポイントにおけるスループット予測法の高速度 ” 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol.J98-A, No.2, pp.209-220, February 2015.(査読有)

[2]住 達郎, 高野 知佐, 会田 雅樹, 石田 賢治, “ 拡散方程式に基づく自律分散的輻輳制御技術の実証実験 ” 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J95-D, no.12, pp. 2048-2058, Dec. 2012. (査読有)

[3]Chisa Takano, Masaki Aida, Masayuki Murata and Makoto Imase, “Proposal for autonomous decentralized structure formation based on local interaction and back-diffusion potential,” IEICE Transactions on Communications (Special Section on Frontiers of Information Network Science), vol. E95-B, no. 5, pp. 1529-1538, 2012. (査読有)

〔学会発表〕(計 18 件)

[1]Hiroyasu Obata, Ryo Hamamoto, Chisa Takano, and Kenji Ishida, “Throughput characteristics evaluation of media access control method based on synchronization phenomena of coupled oscillators over WLAN coexisting of CSMA/CA terminals,” Proc. the 7th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON 2014), pp.254-259, Shizuoka, Japan, Dec. 2014. (査読有)

[2]Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Hiroyasu Obata, Kenji Ishida, and Tutomu Murase, “Characteristics analysis of an AP selection

method based on coordination moving both users and APs," Proc. the 7th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON 2014), pp.243-248, Shizuoka, Japan, Dec. 2014. (査読有)

[3]安藤 竜馬, 濱本 亮, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治, ``双方向フローが存在する無線 LAN 環境下における結合振動子の同期現象に基づく MAC 制御方式の特性評価," 第 16 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム (16th HISS), B-29, Nov. 2014. (ポスター発表, 査読あり)

[4]小畑 博靖, 濱本 亮, 高野 知佐, 石田 賢治, ``無線 LAN 環境における結合振動子の同期現象に基づくメディアアクセス制御方式の特性評価," 第 3 回 NetSci/CCS 研究会合同ワークショップ, Aug. 2014.

[5]濱本 亮, 高野 知佐, 小畑 博靖, 石田 賢治, ``マルチレート無線 LAN 環境におけるアクセスポイントの高速スループット予測法に対する適応的な予測式選択法," 信学技報, IN2014-18, vol. 114, no. 110, IN2014-18, pp. 13-18, 2014 年 6 月 (香川大学).

[6]Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida and Masaki Aida, ``Characteristics of Autonomously Configured Structure Formation Based on Power Consumption and Data Transfer Efficiency," IEEE CANDAR 2013 Workshops (ASON 2013), Matsuyama, Japan, December 4-6, 2013. (査読有)

[7]Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida and Masaki Aida, ``Guaranteeing asymptotic stability of clustering for MANET by autonomous decentralized structure formation mechanism based on local interaction," IEEE ICDCS 2013 Workshops (ADSN 2013), Philadelphia, PA, USA, July 8-11, 2013. (査読有)

[8]友宗 実紀, 濱本 亮, 高野 知佐, 石田 賢治, ``標的問題を用いた端末の省電力化と通信到達性の向上を目指す端末の通信半径設計法," 2014 年電子情報通信学会総合大会, B-7-27, 新潟大学.

[9]濱本 亮, 高野 知佐, 小畑 博靖, 石田 賢治, ``マルチレート無線 LAN 環境における端末の分布を考慮したアクセスポイントの高速スループット予測法," 2014 年電子情報通信学会総合大会, B-7-35, 新潟大学.

[10]濱本 亮, 高野 知佐, 会田 雅樹, 石田 賢治, ``標的問題に基づくマルチレート無線 LAN 環境のアクセスポイントにおける高速スループット予測法の検討," 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報, IN2013-51, vol. 113, no. 140, pp. 89-94, 2013 年 7 月 19 日 (北海道大学).

[11]Masaki Aida, Teruyuki Hasegawa, Chisa Takano and Jean Walrand, ``A theoretical framework for governing nodes' behavior in a large-scale network through local interactions," 3rd Japan-US Future Network Research

Collaboration Workshop (第 3 回日米将来ネットワークワークショップ), TKP 東京駅八重洲カンファレンスセンター, Tokyo, Japan, November 12-14, 2012.

[12]Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida and Masaki Aida, ``Power consumption characteristics by autonomous decentralized structure formation technology," The 9th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies (APSITT 2012), Santiago and Valparaiso, R.O.Chile, November 5-9, 2012. (査読有)

[13]Ryo Hamamoto, Chisa Takano, Kenji Ishida, Masaki Aida, ``Guaranteeing asymptotic stability of clustering by autonomous decentralized structure formation," The 9th IEEE International Conference on Autonomic and Trusted Computing (ATC 2012), Fukuoka, Japan, September 4-7, 2012. (査読有)

[14]臼井 健, 地引 昌弘, 作元 雄輔, 高野 知佐, 会田 雅樹, 西永 望, ``自律分散セッションステートマイグレーションによる需要変動に応じたサーバ制御の検討," 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ研究会, 信学技報 IA2012-98, vol. 112, no. 489, pp. 133-138, 2013 年 3 月 14 日 (奈良市・東大寺総合文化センター).

[15]濱本 亮, 高野 知佐, 会田 雅樹, 石田 賢治, ``消費電力とデータ転送効率に基づく自律分散的に構成したクラスタの評価," 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2012-179, vol. 112, no. 464, pp. 149-154, 2013 年 3 月 8 日 (沖縄残波岬口イールホテル).

[16]増田健太, 高野 知佐, 会田 雅樹, ``トポロジの大幅な変更を伴う MANET 環境における自律的に形成されたクラスタ構造のロバスト性," 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2012-144, vol. 112, no. 393, pp. 33-38, 2013 年 1 月 25 日 (鹿児島県産業会館).

[17]濱本 亮, 高野 知佐, 会田 雅樹, 石田 賢治, ``自律分散的なクラスタ構成法における漸近安定性保証技術の MANET 環境への適用," 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会, 信学技報 IN2012-45, vol. 112, no. 134, pp. 73-78, 2012 年 7 月 20 日 (北海道大学).

[18]高木 健志, 会田 雅樹, 高野 知佐, 成瀬 誠, ``Huygens の原理とくりこみ変換に基づく新しい自律分散的構造形成技術の提案," 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会, 信学技報 CQ2012-2, vol. 112, no. 10, pp. 7-12, 2012 年 4 月 19 日 (石垣島・官公労八重山会館).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

取得状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

高野 知佐 (TAKANO, Chisa)
広島市立大学・大学院情報科学研究科・准
教授
研究者番号： 60509058

(2)研究分担者

會田 雅樹 (AIDA, Masaki)
首都大学東京・システムデザイン研究科・
教授
研究者番号： 60404935