

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K06438

研究課題名（和文）新たな離散構造を用いたアシュアランスネットワーク制御技術

研究課題名（英文）An Assurance Network Control Technique Using a New Discrete Structure

研究代表者

石田 賢治（Ishida, Kenji）

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：70221025

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：異種でかつ変化する要求に対するディペンダビリティ、適時性、適応性を満たすアシュアランス性をもつネットワーク制御技術を考慮した、無線マルチホップネットワークについて、新たな離散構造を参考にして考察した。2020年度以降は、新型コロナ禍の影響により実機実験が制約されたため、主に要素技術の考察を重点的に行った。成果として、アシュアランス性を考慮した無線マルチホップネットワークにおける幾つかの要素技術を開発した。例えば、無線マルチホップネットワークにおいて、クラスタリングで複数の同期範囲を適応的に設定可能にすることにより、適時性に優れた新たなメディアアクセス制御を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然災害の多い日本では防災減災への取り組みとして、スマートフォンなどのモバイル端末を利用したICTの活用が進んでいる。しかしながら、基地局等の通信インフラは災害時などの一部地域では、利用できない可能性がある。そこで、基地局を利用せずに通信可能な無線マルチホップ通信が注目されている。しかし、マルチホップ通信は複数の端末で構成するため、端末数の増加に伴うフレーム衝突や中継フレームの送信待ちで、他の端末が通信を行えない等、通信効率の低下が問題となる。本研究では、従来方式よりも高いスループットを獲得できるマルチホップ通信方式を提案した。この成果は、日本の防災減災への取り組みに活かすことが可能である。

研究成果の概要（英文）：Wireless multi-hop networks considering assurance-oriented network control techniques that satisfy dependability, timeliness, and adaptability to heterogeneous and changing demands were investigated with reference to a new discrete structure. Since actual experiments were restricted after the year 2020 due to the new corona disaster, we mainly focused on the consideration of elemental technologies. As a result, we developed several elemental technologies for assurance-aware wireless multi-hop networks. For example, we proposed a new media access control method with excellent timeliness in wireless multi-hop networks by enabling multiple synchronization ranges to be set adaptively through clustering.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：プロトコル アシュアランス性 無線マルチホップネットワーク

1. 研究開始当初の背景

異種でかつ変化する要求に対するディペンダビリティ、セキュリティ、適時性、適応性を満たす性質はアシュアランス性と定義される。アシュアランスシステムの起源は、リスポンシブシステムの提案に遡る。多数のコンピュータをネットワーク経由で有機的に結合する並列/分散システム環境では、個々のコンピュータで起こる異常がネットワーク全体に拡散して多大の損害を及ぼす状況になっていた。このような状況下では、正常処理だけでなく異常処理を含めたすべての処理に対する性能向上が強く要求され、リスポンシブシステム概念を生むに至った。リスポンシブシステムは、1990年当時、テキサス大学オースティン校の Miroslaw Malek 教授により提唱された概念であり、フォールトが存在しても期待される情報通信サービスをタイムリーに実行するシステムである。申請者は、First International Workshop on Assurance in Distributed Systems and Networks (ADSN 2002, Vienna, Austria July 2, 2002)において Program Co-Chair を務めて以来、アシュアランスシステムについて検討を続けている。本申請のユースケースとして、無線 LAN を想定したマルチホップネットワーク構成に注目する。

日本では高度経済成長期に構築された構造物のメンテナンス費用増大が顕在化している。建物、橋梁、トンネルなどの構造物を含む社会資本ストックを ICT 技術の利用により効率的にモニタリングすることにより、メンテナンス費用の削減が可能[a]となる。構造物に設置したセンサから膨大なデータを高信頼、高速に収集するためには、自由度の高い無線マルチホップネットワークシステムが必要となる。また、このようなシステムは、大規模災害が発生した際、被害情報の災害対策本部への集約を可能とする。このシステムにおいては、各種センサーと通信機器を装備したリレーノード(中継機器や電気自動車等)を構造物本体やその周辺、または、被災地に多数配置した、無線マルチホップネットワーク[b]の適切な構成が重要となる。無線マルチホップネットワークのノード配置などの組合せ最適化の検討においては、新たな離散構造を参考にする。

[a] 森川博之, "スマートインフラストラクチャ:「作る」「使う」から「マネジメント」へ," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, BT-3-1, 2016.

[b] 今井博英, 間瀬憲一, 岡田啓, 中野敬介, "路上空間を用いた無線マルチホップネットワークのリレーノード配置方式," 電子情報通信学会論文誌(B), J99-B, 10, pp.871-880, 2016.

2. 研究の目的

本研究では、情報ネットワークシステムへのアシュアランス性の導入を目指す。膨大な端末が接続される現在の情報ネットワークシステムは、アシュアランス性を持つことが重要である。異種でかつ変化する要求に対するディペンダビリティ、セキュリティ、適時性、適応性を満たす性質はアシュアランス性と定義される。このアシュアランス性をもつネットワーク制御技術は、異種でかつ変化する想定外の事象への対応能力を持つため、社会資本ストックのメンテナンスや利用者の安心・安全につながる次世代の情報ネットワーク構築に貢献できる。研究におけるユースケースとして、無線 LAN を想定したマルチホップネットワーク構成とその制御に注目する。

3. 研究の方法

(1) アシュアランス性を持つ無線マルチホップネットワーク構成について、アシュアランス性を考慮した制約条件の検討

(2) より現実的な前提条件や(1)の制約条件を考慮した無線マルチホップネットワーク構成と制御技術の検討

従来の無線マルチホップネットワーク構成においては、ホモジニアスな環境における評価が見られるが、より現実的な自由度の高いヘテロジニアスな環境での評価が望ましい。そこで、ヘテロジニアスな無線ノード構成を前提に検討した。

実際の無線ノードは電波環境に応じて複数の伝送レート(マルチレート)を動的に制御する Rate Adaptation (RA) 技術が導入されている。この RA 技術を前提に検討した。

無線 LAN システムが近距離にひしめく環境では、キャプチャ効果により、スループットが決まることが知られている。ここで、キャプチャ効果とは、フレーム同士が無線上で衝突が起きた場合に、より電波強度の強い端末がフレーム送信に成功する現象である。そこで、

キャプチャ効果を前提に検討した。

無線マルチホップネットワークにおいて、スループットを大きく改善する新たな制御技術を検討した。

(3) 考察した無線マルチホップネットワーク構成および制御技術の評価

考察した技術の有効性の評価を行い、得られた成果を学会などで発表した。

4. 研究成果

(1) ヘテロジニアスな環境を前提とした検討

従来の無線マルチホップネットワーク構成においては、ホモジニアスな環境における評価が見られるが、より現実的な自由度の高いヘテロジニアスな環境での評価が望ましい。そこで、アクセスポイント (AP) - 端末 (STA) 間距離や伝送レートなどが異なるヘテロジニアスな無線 LAN システムが混在した場合を前提に検討した。

その結果、異なる AP-STA 間距離の無線 LAN システムが複数密集した場合、AP-STA 間距離が大きい無線 LAN システムが存在すると、無線 LAN システム間距離に関係なくキャプチャ効果を十分に発揮できないため、無線 LAN システム全体のスループットが向上しないことが分かった。ここで、キャプチャ効果とはフレームの衝突時に受信局において SINR (Signal-to-Interference plus Noise power Ratio) が正常に保たれたフレームが正常に受信される現象のことである。また、異なる伝送レートの無線 LAN システムが密集した場合、高伝送レートの無線 LAN システムのスループットは無線 LAN システム間距離が近いと低伝送レートの無線 LAN システムのスループットに近い値まで低下するが、ある程度 (本実験では 10m) 離れるとスループットが向上することが分かった。

(2) 無線 LAN システム における Rate Adaptation (RA) 技術を前提とした検討

実際の無線 LAN システム における無線ノードでは電波環境に応じて複数の伝送レート (マルチレート) を動的に制御する Rate Adaptation (RA) 技術が導入されている。この RA 技術を前提に検討して、ある物理法則に基づく新たなスループット予測モデルを提案した。提案したモデルは、ノード配置問題の制約条件を考慮する際に役立つものである。得られた成果の一部を IEEE の国際会議で発表した。右の図 1 のように AP-端末間距離とスループットの関係を計算可能な提案モデルによる結果 (Proposed Method) は、実測値 (Actual Experiment) と良くあっていることが分かった。

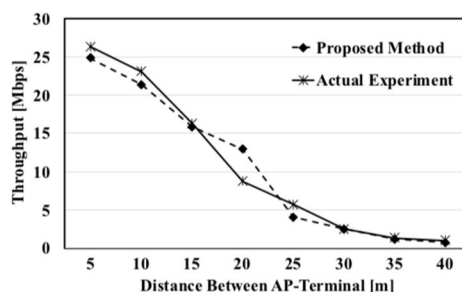


図 1 AP-端末間距離とスループットの関係

(3) キャプチャ効果を前提とした検討

無線 LAN システムが近距離にひしめく環境では、キャプチャ効果により、スループットが決まることが知られている。そこで、キャプチャ効果を前提に検討した。そして、より実際に近い、マルチレートやキャプチャ効果を考慮したモデルに基づく通信制御に関して考察し、新たな方式を提案した。右の図 2 のように提案方式 (Proposal) は、従来方式 (SACA, CSMA/CA) と比較して高いスループットが得られることが分かった。

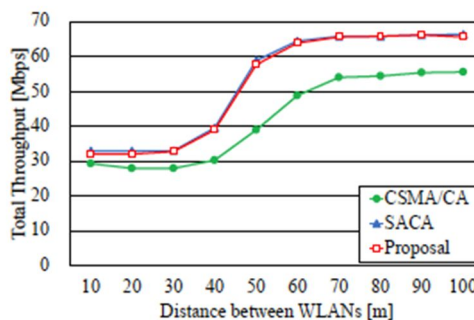


図 2 無線 LAN システム間距離とスループットの関係

(4) スループットを大きく改善する新たな制御技術の検討

端末数の増加に伴うデータフレームの衝突回避を一種の同期制御により可能とする、適時性の高いメディアアクセス制御として SP-MAC が提案されているが、無線マルチホップ環境には対応していない。そこで、無線マルチホップ環境に対応可能な制御として、クラスタリング等で複数の同期範囲を適応的に設定可能な、SP-MAC に基づくメディアアクセス制御を提案し、その性能を評価した。シミュレーション実験の結果、提案方式は端末が密な環境においてパケットの衝突を回避し、既存の方式よりも高い合計スループットを獲得できることを確認した。得られた成果の一部を電子情報通信学会の研究会や電子情報通信学会論文誌 (B) などで発表した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中村 一貴, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治	4. 巻 J106-B
2. 論文標題 V-SP-MAC: 無線マルチホップ環境における同期範囲を考慮した結合振動子の同期現象に基づくメディアアクセス制御	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 (B)	6. 最初と最後の頁 134-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2022GW0010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 藤本 悠弥, 小畑 博靖, 村瀬 勉, 長谷川洋平, 石田 賢治
2. 発表標題 オーバーヒアリングと伝送レート変更を併用した移動APIによる分割ファイル配信制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中村 一貴, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 無線マルチホップ環境における同期範囲を考慮したSP-MACに基づくメディアアクセス制御
3. 学会等名 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
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ikeda Yuko, Obata Hiroyasu, Ishida Kenji
2. 発表標題 Performance Evaluation of Information Floating with Limited Expiration Time in Terms of Information Reception Time and Error Diffusion Rate
3. 学会等名 Proc. 14th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小畑 博靖, 足立 悠輔, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 隣接チャンネル干渉下における無線LAN間のスループット公平性の向上を目指したMAC切り替え制御方式の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 情報ネットワーク研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazuki Nakamura, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Throughput Characteristics Evaluation of Media Access Control SP-MAC in Multi-hop WLAN Environment Considering Capture Effect
3. 学会等名 13th International Workshop on Autonomous Self-Organizing Networks (ASON ' 20) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田 万裕, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 無線LAN環境下におけるAP移動を考慮した結合振動子の同期現象に基づくメディアアクセス制御の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 2019年ソサイエティ大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 WLAN間のスループット公平性を改善するキャプチャ効果を用いたメディアアクセス制御
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-25
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junichi Funasaka, Hiroyasu Obata, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Number of TCP Connections to Saturate Bandwidth of Wireless Networks
3. 学会等名 12th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiki Miura, Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida
2. 発表標題 A Media Access Control Method based on Capture Effect considering Throughput Fairness among WLAN Systems
3. 学会等名 The 8th Korea-Japan Joint Workshop on Complex Communication Sciences (KJCCS2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 WLAN密集環境におけるスループット公平性を改善する数理モデルに基づくキャプチャ効果を用いたメディアアクセス制御
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-88
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 一貴, 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 キャプチャ効果を考慮した無線LANマルチホップ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SP-MACのスループット特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-78
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤 文瑠, 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 マルチレート伝送を考慮したアドホックネットワーク環境における伝送レート利用率とスループットの特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-79
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小田木 良介, 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 無線LAN環境における配信範囲を限定した移動アクセスポイントによる情報配信制御
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-90
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森田 万裕, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 AP移動を考慮した無線LAN環境におけるメディアアクセス制御SP-MACのスループット向上に関する検討
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-104
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 舟阪 淳一, 小畑 博靖, 石田 賢治
2. 発表標題 IEEE802.11g無線LANにおけるファイル送信の合計スループットを最大化する並列数についての評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, IN2019-77
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyasu Obata, Chisa Takano, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Modeling of Transmission Rate Based on Experimental Evaluation on Multi-Rate Wireless LAN for Safe and Secure Life
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 スループットの公平性向上を目指したキャプチャ効果を用いた無線LANメディアアクセス制御の改良
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, IN2018-109, March 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合 海人, 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 隣接チャンネル干渉下におけるキャプチャ効果を考慮した無線LANメディアアクセス制御のスループット特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, IN2018-110, March 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市場 充, 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 WLANシステム間のスループット公平性を考慮したキャプチャ効果を用いたMAC切り替え制御方式
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, NS2018-205, March 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三浦 圭輝, 小畑 博靖, 高野 知佐, 泉川 洋介, 石田 賢治
2. 発表標題 ヘテロジニアスな無線LANシステムにおけるキャプチャ効果を考慮したスループットの実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, CQ2017-104
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泉川 洋介, 小畑 博靖, 高野 知佐, 村瀬 勉, 石田 賢治
2. 発表標題 複数WLAN密集環境におけるキャプチャ効果を考慮したメディアアクセス制御のスループット特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, CQ2017-105
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鶴見 涼, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 WLAN環境における異種TCPバージョン間のスループット差を考慮したSP-MACに基づくスループット制御方式
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, CQ2017-107
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 森田 万裕, 小畑 博靖, 高野 知佐, 石田 賢治
2. 発表標題 SP-MACに基づく適応的スループット制御を用いたTCP輻輳制御のスループット特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, CQ2017-108
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 坂井 太一, 小畑 博靖, 高野 知佐, 泉川 洋介, 石田 賢治
2. 発表標題 無線LANマルチレート環境における経路上の地表属性を考慮した伝送レート変化とスループットの実験的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告, CQ2017-114
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小畑 博靖 (Obata Hiroyasu) (30364110)	広島市立大学・情報科学研究科・准教授 (25403)	
研究分担者	高野 知佐 (Takano Chisa) (60509058)	広島市立大学・情報科学研究科・教授 (25403)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------