

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：17104
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2023
課題番号：20K11770
研究課題名（和文）無線ネットワークのパケット転送におけるP4を用いた局所・大域制御の統合とその評価

研究課題名（英文）P4-based local-global integrated control for packet forwarding in wireless networks

研究代表者
鶴 正人（Tsuru, Masato）
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授

研究者番号：40231443
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：IoTネットワークの利用の拡大・多様化に伴い、利用者の通信データの転送とネットワークの管理・制御情報の転送の両方において中継ノードでの処理の高度化が求められている。本課題では、汎用P4技術の適用によるIoTネットワークの高度化を目指し、例として、無線マルチホップネットワークでの高信頼なパケット転送、ネットワーク管理・制御のための情報の高効率な転送、に関する新しい方式を設計・評価し、新機能をP4技術を用いて安価なソフトウェア中継ノードに実装する際の性能の評価実験も行った。これらを通じ、P4技術に基づく無線ネットワーク中継ノード高度化の実現可能性や問題点を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IoTと呼ばれる社会インフラは、情報の収集・処理や情報に基づく自動動作を行なう装置を様々な場所や移動する物・人に付け、通信ネットワークで接続し、全体最適化のために連携させて様々なサービスを適応的に提供し、安全・安心でエネルギー効率のよい社会の実現を目指す。IoTネットワークの信頼性や性能の向上には、利用者の通信データやネットワークの管理・制御のための情報を転送する中継ノードの高度な機能を柔軟かつ安価に追加・更新する必要があるため、本課題では、中継ノードの機能高度化にP4と呼ばれる最新の汎用技術を適用する際の実現可能性や問題点を明らかにし、IoT社会インフラの実現に寄与した。

研究成果の概要（英文）：With expansion and diversification of the use of IoT networks, there is a need for integrated enhancement of processing at relay nodes in both the forwarding of user data and the exchanging of management and control information of the network. This study considers the application of general-purpose P4 technology as a driving force to the enhanced relay nodes in IoT networks, and as examples, a reliable packet forwarding method for wireless multi-hop networks and an efficient exchanging method for network management and control information were newly designed and evaluated, and the performance of implementing new functions in inexpensive P4-based software relay nodes was also experimentally evaluated. Through these efforts, the feasibility and problems of upgrading wireless relay nodes using P4 technology were clarified.

研究分野：情報通信ネットワーク

キーワード：P4 中継ノード 無線マルチホップネットワーク ネットワーク管理・制御

1. 研究開始当初の背景

IoT と呼ばれる社会インフラは、情報の収集・処理や情報に基づく自動動作を行なう装置を様々な場所や移動する物・人に付け、通信ネットワークで接続し、全体最適化のために連携させて様々なサービスを適応的に提供し、安全・安心でエネルギー効率のよい社会の実現を目指す。IoT ネットワークは有線および無線の通信ネットワークから構成されるが、各々の通信ネットワークにおける信頼性や性能の大幅な向上には、集中制御による全体最適化とネットワーク内の個々のパケット中継ノードの機能高度化の両方が必要である。一般にネットワークは、利用者の通信データを運ぶデータチャンネルとネットワーク自体を管理・制御するための情報を運ぶ制御チャンネルと呼ばれる2つの仕組みを持ち、後者はコントローラと中継ノード間での大域的情報や隣接する中継ノード間での局所的情報の交換に使われる。管理・制御情報の交換に制御チャンネル専用のネットワークを用意するのはコストがかかりすぎるため、利用者の通信データとネットワークの管理・制御情報の両方を同じネットワーク上で効率よく転送するための処理の統合的な高度化が求められている。そのために、OpenFlow 技術等でのコントローラによる集中制御の導入に続き、P4 技術等に基づくパケット中継ノードの機能高度化の検討が始まっている。特に、IoT ネットワークにおいては多数の小型の中継ノードが必要であり、また限られた通信資源(帯域)を効率よく利用するための様々な機能が必要になる。よって、そのような多様な処理機能の導入や更新をソフトウェア中継ノードによって安価に実現することが望まれる。

2. 研究の目的

そこで本研究課題では、汎用 P4 技術の適用による IoT ネットワークにおけるパケット中継ノードの高度化を目指し、安価なソフトウェアベースの P4 技術に基づくパケット中継ノード(以下ソフトウェア P4 スイッチと呼ぶ)での実装を想定して、データチャンネルと制御チャンネルの両方での中継機能の高度化を検討する。例として、(1)無線マルチホップネットワークでの高信頼なパケット転送、(2)ネットワーク管理・制御情報の高効率な転送、に関する方式を設計・評価する。さらに、(3)ソフトウェア P4 スイッチで様々な機能を実装する際の機能・性能面の実験評価を行ない、IoT ネットワーク、特に無線ネットワーク中継ノードの高度化をソフトウェア P4 スイッチによって実現することの可能性や問題点の調査を目的とする。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するために、汎用 P4 技術を考慮しながら、項目(1)「無線マルチホップネットワークでの高信頼なパケット転送」に関して、パケットロス率が高い直列マルチホップ無線ネットワークにおいて各中継ノードのデータ生成レートが不均一かつそのレートが時間変動する場合に対応するために、従来手法を拡張して各ノードでの選択的バッファリング機能とネットワーク符号化の統合方式を設計し、その最適なスケジュールを解析と探索によって導出し、提案手法の信頼性向上への有効性をシミュレーションによって示す。なお、基本となる対象トポロジーは線形(直列)構造であるが、木構造へ拡張できることも示す。

項目(2)「ネットワーク管理・制御情報の高効率な転送」に関して、各ネットワークリンクをアクティブ計測によって監視して高ロス率リンクを実時間で検知するための仕組みに関して分散形 in-band 制御チャンネルに基づく方式を設計し、エミュレーション環境下でのソフトウェア P4 スイッチによって試作・評価し、集中形 out-band 制御チャンネルに基づく従来手法に比べて高ロス率リンクの検知までの時間が短縮できることを示す。

項目(3)「ソフトウェア P4 スイッチでの実装における要素機能・性能の実験評価」に関して、in-band 制御チャンネルの実現に必要な機能の動作と性能を評価する実験をソフトウェア P4 スイッチとして基本実装(BMv2)を用いて行い、さらに基本的な要素機能の評価実験を高速ソフトウェア実装(T4P4S/DPDK)も用いて行い、比較する。

4. 研究成果

● 項目(1)「無線マルチホップネットワークでの高信頼なパケット転送」

直列配置された設備をセンサによって監視することを想定する。そのために中継ノード間を安価な無線リンクで接続し、中継ノード配下のセンサが収集した時間サイクル単位での観測データを各中継ノードで固定長パケットに格納し、両端のゲートウェイを経由してサーバへ送るような、直列マルチホップ無線ネットワークを考える(図1参照)。無線リンクの高いパケットロス率に対応するために同じパケットを適切な回数重複転送して転送の信頼性(パケットがサーバまで無事到達する割合)の最大化を図る。ACK による再送機能はない。パケット転送スケジ

ルールでは直列ネットワークを適切な位置で左右に分けることで経路を決定し、その経路上でパケット単位の時分割転送のためのスロット割当てを行う（図2参照）。先行研究では各ノードのサイクル毎の生成パケット数を固定して最適スケジュールを解析的に設計したが、実環境ではサイクル毎にセンサが収集する情報量に依存して生成パケット数は変動する。そこで本研究では、各中継ノードのデータ生成レートが不均一かつそのレートが時間変動する場合に、各ノードでの選択的バッファリングとネットワーク符号化の統合を行う方式を提案・設計した。

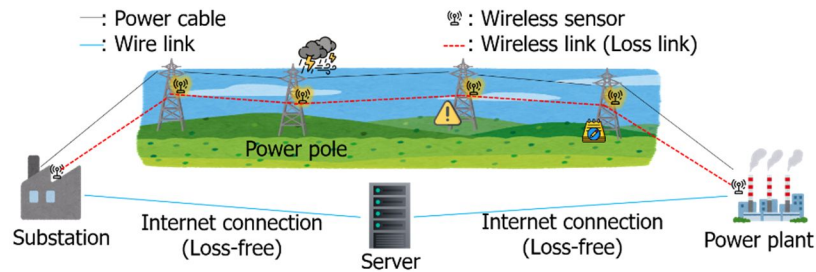


図1:送電網を監視するセンサのための無線マルチホップネットワーク例

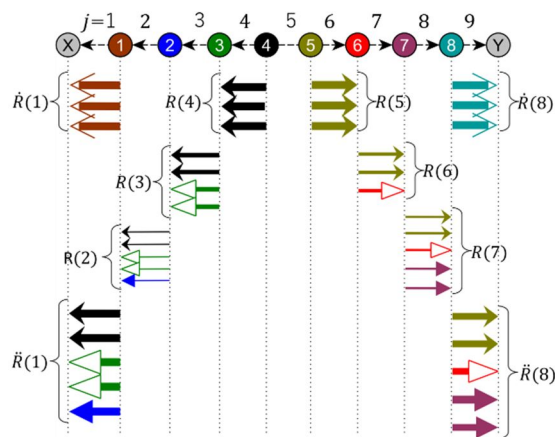


図2:パケット転送スケジュール例（矢印の色は同色のノードが生成したパケットを意味する）

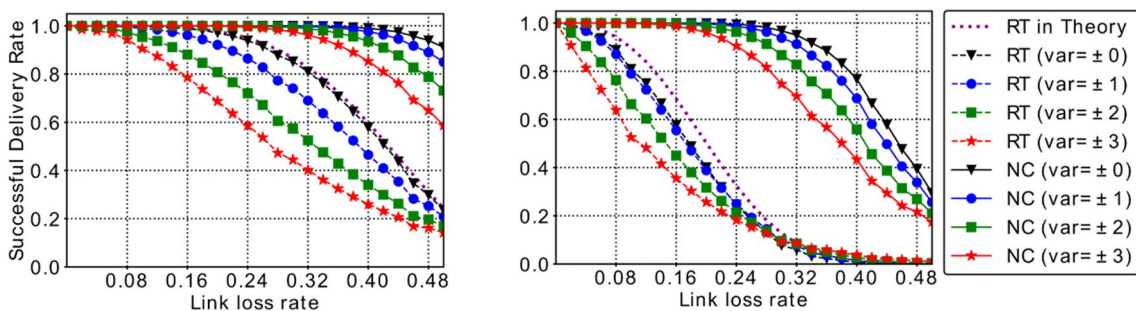


図3:リンクロス率とパケット到達率；各ノードの平均パケット生成数は3(左)と5(右)

この方式の下で許容時間内に左右どちらかのゲートウェイに届くパケットの割合（パケット到達率）を最大化するようなスケジュールを理論解析とテーブル探索によって導出し、そのパケット到達率をシミュレーションによって示した。図3に8ノードでどのリンクも同じロス率の場合のリンクロス率とパケット到達率の関係を示す。各ノードの1サイクル内の平均パケット生成数は左が3個で右が5個。凡例において、varはパケット生成数の平均からの変動数を（0が変動なし）RTは従来手法を、NCは提案手法を示す。RT in Theoryはパケット生成数の変動なしの場合のネットワーク符号化を使わない従来手法での解析値（理論上限値）を示す。提案手法が、特にパケット生成数が多くかつ変動も大きいために1サイクル内のリンク資源に余裕がない場合に、大幅な信頼性向上を実現することが判る。

- 項目(2)「ネットワーク管理・制御情報の高効率な転送」

SDN 技術を用いたネットワークにおける柔軟な経路変更能力を活かし、高信頼・高性能なネットワークを維持するためには、各リンクの状態をそこを流れている利用者の通信データの挙動に依存せずに常時把握する必要がある。そのため、パケットロス率が高い障害リンクをアクティブ計測を用いて実時間で監視・特定する計測システムが重要になる。先行研究では OpenFlow ネットワーク上でコントローラ、スイッチ、計測パケットを送信する 1 台の計測端末(以下 MH と略す)が連携し、MH が一定数の計測パケット列を送信し、それらが全てのリンク(全二重リンクの上り下りを区別)を網羅する適切なマルチキャスト計測経路に沿って転送された後、コントローラがいくつかの必要なスイッチに対してそこを通過した計測パケットの統計情報を適切な順番で問い合わせることで高ロス率リンクを効率的に検知・特定する手法を開発した。しかし、単一コントローラを前提とするため、本質的に大規模なネットワークでは検知時間と制御チャネル負荷の増大が課題であった。特に一定数の計測パケットが経路を流れた後にコントローラから複数のスイッチに問い合わせるため、障害リンクが多数ある場合には特定までに時間を要する。そこで本研究では、MH が計測パケット列を送信し、それらが全ての全二重リンクを網羅する一筆書き経路に沿って MH へ戻る際に、途中のスイッチ自身が隣接(計測経路上で手前)のスイッチとの連携によってリンクのパケットロスを検出し、計測パケットにその情報を格納することでコントローラを介さずにパケットロス発生リンクを障害リンク候補として MH へ実時間で通知する計測システムを提案した(処理の流れは図 4 左)。計測パケットは DIX 仕様の Ethernet フレーム上のペイロードに必要情報を格納する。固定長の ProbeData_Base は計測パケットがスイッチを通過する毎に書き換えられ、そのスイッチのその入力ポートをこれまで通過した計測パケット数が格納される。各スイッチは受け取った計測パケット中に格納されたこの値とそのスイッチが保持するその入力ポートをこれまでに通過したパケット数とを比較して、そのスイッチの手前リンクでのパケットロス発生を検知する。その際、スイッチはその情報を計測パケットへ ProbeData_Loss として追加する。ただし、パケットロスが発生するリンク数が多い場合には多数の ProbeData_Loss が 1 個の計測パケットに収まらない可能性があり、その場合は複数の計測パケットに分割して運ぶ。一方、ProbeFwd には MH から送信される時点では計測経路全体の情報が入力ポート番号の列として入っており、転送が進むと前から削除されていく。計測パケットに経路情報とパケット通過数情報を載せることで計測経路の動的設定と障害リンクの特定の両方でコントローラが不要になる。

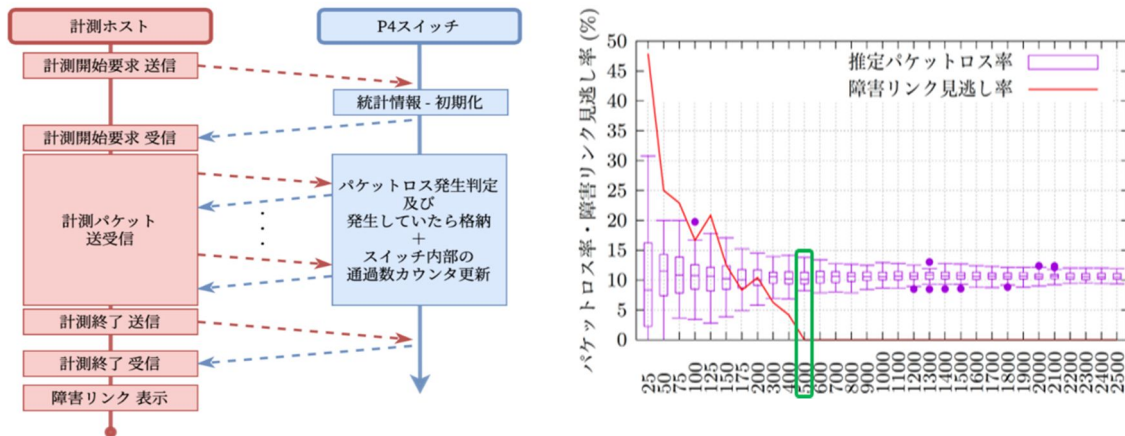


図 4 : 計測ホストと各スイッチとのやりとり(左) ; 計測パケット数と障害リンクの計測ロス率・見逃し率の関係(右)

スイッチ間連携による障害リンクの実時間検知(提案手法)の実現可能性と基本性能を調べるため、提案手法を P4 技術を使って設計・試作し、Mininet 上のソフトウェア P4 スイッチ(BMv2)を使ってエミュレーション評価した。スイッチ数 49 リンク 168 のネットワーク上のランダムな 2 箇所のリンクにロス率 10.5%、他のランダムな 4 箇所にロス率 1.5%、残りのすべてにロス率 0.1%を設定し、障害リンクの閾値をロス率 8%とし、MH から 2500 個の計測パケットを 0.1 秒間隔で送信する実験を複数回行った。図 4 右はそれまで送信した計測パケット数と 2 つの障害リンクのロス率の計測値を示す。様々なパターンで実験し、最悪のパターンでも送信した計測パケット数が 500 個程度の時点で障害リンクを特定できた。先行研究では 2500 個の計測パケットを送信した後でスイッチへの問い合わせを開始するので、それに比べると大幅な時間短縮になる。ただし、今回の方式では計測経路が最も単純な一筆書きであり、途中で計測パケットが多量にロスすると MH への情報伝達が遅くなり、かつ計測精度が低下する。複数経路やマルチキャスト経路などの活用による改善が必要である。

● 項目(3)「ソフトウェア P4 スイッチでの実装における要素機能・性能の実験評価」

ソフトウェア P4 スイッチの基本実装(BMv2)を用いて in-band 制御チャネルの実現に必要な機能の動作と性能を実機実験によって評価した。図 5 右のネットワークは 2 つの P4 スイッチ (S1,S2)とコントローラ、送受信端末(H1,H2) から構成される。各スイッチでは通過するデータパケットの IPv4 ヘッダのオプションフィールドに図 5 左に示す制御情報を確率的に付加する。In-band 制御チャネルを実現するため、各スイッチではルーティングテーブル参照(RefTab)と制御情報付加(AddInfo)が行われる。コントローラに直接接続されているスイッチでは、制御メッセージが埋め込まれたデータパケットが到着すると、そのパケットはクローンされる(ClnPkt)。元のパケットは制御メッセージの削除(DelInfo)後、オリジナルのデータパケットとして受信端末 H2 へ送信される。一方、クローンされたデータパケットは、ペイロードが除去され、宛先がコントローラのアドレスに変更された後、イーサネットヘッダと IPv4 ヘッダだけから成る制御パケットとして直接コントローラに送られる(SndMsg)。

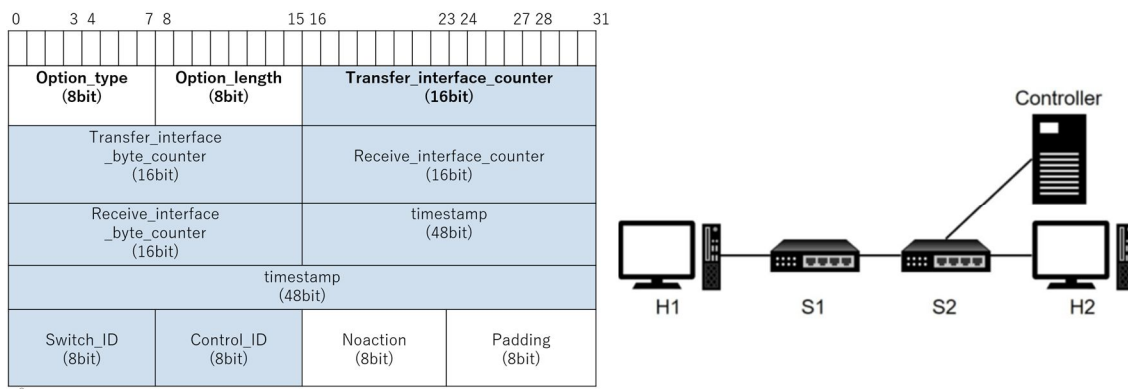


図 5 :IP オプションを使った制御情報の埋め込み(左) ; 実験ネットワーク構成(右)

図 6 左は、制御情報埋め込み確率 100%の条件下で、S1 で RefTab と AddInfo を動作させ、S2 で動作させる機能群を 3 パターン変えて(RefTab のみ; ClnPkt,DelInfo を追加;さらに SndMsg を追加) H1 から H2 への TCP フローのスループットを計測した結果である。左端の ip_forward は BMv2 をインストールしない素の Linux の場合を示す。TCP ペイロード長 1440 バイトに対する IPv4 オプション 20 バイトのオーバーヘッド(1.4%の帯域損失)では説明できない性能低下であり、動作機能を増やす毎に低下し、特に SndMsg 機能による影響が顕著である。しかし全データパケットに制御情報を埋め込むという最も負荷の高い条件での 400 [Mbps]程度の TCP スループットの値は、改善の希望があることを示しているとも言える。

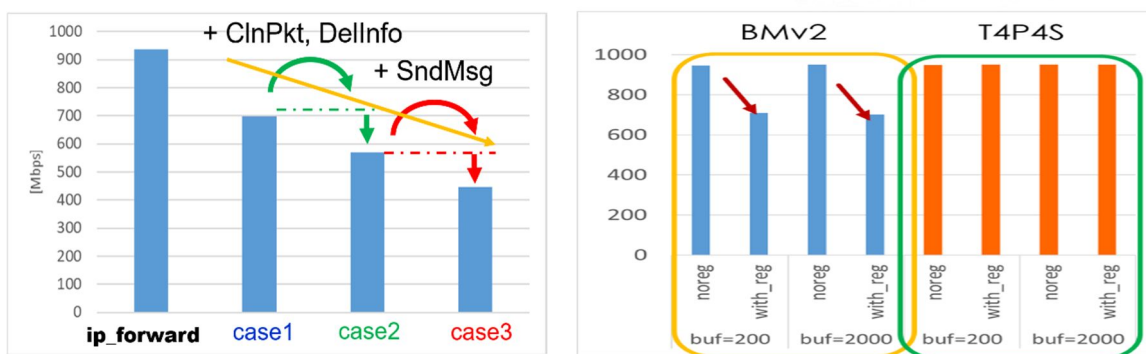


図 6 :P4 スイッチの機能追加と TCP スループット(左) ; BMv2 と T4P4S の性能比較(右)

さらに、P4 スイッチで実装される様々な基本的要素機能に関して、より高性能な P4 ソフトウェアスイッチとして DPDK を利用する T4P4S を取り上げ、BMv2 との比較実験を行った。図 6 右は、要素機能の例として多数回の Register read/write をスイッチで行う場合と行わない場合の TCP スループットの計測結果である。スイッチのパッファ長に依らず、BMv2 ではみられる性能低下は T4P4S では全く見られなかった。しかし、T4P4S は BMv2 に比べて未実装の P4 機能も多く、実際に様々な機能を実装するにはハードルが高いことも判った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ha Nguyen Viet, Tuan Kiet Tran Nguyen, Thanh Binh Bui Ngoc, Tri Nguyen Minh, Thao Nguyen Tran Thi, Tsuru Masato	4. 巻 1
2. 論文標題 Real-Time In-Band Network Link Loss Detection With Programmable Data Plane	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. 16th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST'24)	6. 最初と最後の頁 167 - 172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/KST61284.2024.10499673	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 該当する
1. 著者名 Nguyen Viet Ha, Tran Thi Thao Nguyen, Nguyen Truong Giang, Masato Tsuru	4. 巻 1
2. 論文標題 Network Coding in TDMA-Based Scheduling for Fluctuating Linear Wireless Sensor Networks	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Proc. 38th International Conference on Information Networking (ICOIN'24)	6. 最初と最後の頁 449 - 454
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 該当する
1. 著者名 Kumazoe Kazumi, Shibata Masahirto, Tsuru Masato	4. 巻 1
2. 論文標題 Experimental comparison of software switches for data plane programming language P4-BMv2 and T4P4S-	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 12th International Conference on Networks, Communication and Computing (ICNCC'23)	6. 最初と最後の頁 210 - 217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3638837.3638871	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 -
1. 著者名 Ha Nguyen Viet, Thao Nguyen Tran Thi, Tsuru Masato	4. 巻 1
2. 論文標題 Buffering-Based Solution for Fluctuation of Generating Packets in Linear Wireless Sensor Networks	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proc. 14th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Network (ICMU'23)	6. 最初と最後の頁 1 - 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICMU58504.2023.10412224	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 該当する

1. 著者名 Kumazoe Kazumi, Shibata Masahiro, Tsuru Masato	4. 巻 527
2. 論文標題 A P4 BMv2-Based Feasibility Study on a Dynamic In-Band Control Channel for SDN	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems (Proc. Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems. INCoS 2022)	6. 最初と最後の頁 442--451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-14627-5_45	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 -

1. 著者名 熊副和美、柴田将拡、鶴 正人	4. 巻 ICM2022-17
2. 論文標題 動的in-band制御チャネルの実装を通したソフトウェアスイッチ(P4 BMv2)の動作検証	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術報告 (信学技報)	6. 最初と最後の頁 36--41
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Nguyen Linh Vu, Ha Nguyen Viet, Shibata Masahiro, Tsuru Masato	4. 巻 14
2. 論文標題 TDMA-based scheduling for multi-hop wireless sensor networks with 3-egress gateway linear topology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Internet of Things	6. 最初と最後の頁 100398 ~ 100398
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.iot.2021.100398	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 該当する

1. 著者名 Mowshowitz Abbe, Kawaguchi Akira, Tsuru Masato	4. 巻 312
2. 論文標題 Topology as a Factor in Overlay Networks Designed to Support Dynamic Systems Modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Networking and Collaborative Systems 2021. Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 116 ~ 124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-84910-8_13	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 該当する

1. 著者名 Tri Nguyen Minh、Shibata Masahiro、Tsuru Masato	4. 巻 29
2. 論文標題 Effective Route Scheme of Multicast Probing to Locate High-loss Links in OpenFlow Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Information Processing	6. 最初と最後の頁 115 ~ 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2197/ipsjjip.29.115	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 -

1. 著者名 Yoshida Ryosuke、Shibata Masahiro、Tsuru Masato	4. 巻 1263
2. 論文標題 Transmission Scheduling for Tandemly-Connected Sensor Networks with Heterogeneous Packet Generation Rates	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 437 ~ 446
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-57796-4_42	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 -

1. 著者名 Kumazoe Kazumi、Tsuru Masato	4. 巻 1263
2. 論文標題 P4-Based Implementation and Evaluation of Adaptive Early Packet Discarding Scheme	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advances in Intelligent Systems and Computing	6. 最初と最後の頁 460 ~ 469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-57796-4_44	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 -

1. 著者名 Nguyen Linh Vu、Shibata Masahiro、Tsuru Masato	4. 巻 159
2. 論文標題 Message Transmission Scheduling for Multi-hop Wireless Sensor Network with T-Shaped Topology	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Networks and Systems	6. 最初と最後の頁 120 ~ 130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-61108-8_12	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 -

1. 著者名 Tri Nguyen Minh, Ha Nguyen Viet, Shibata Masahiro, Tsuru Masato, Kawaguchi Akira	4. 巻 65
2. 論文標題 On Reducing Measurement Load on Control-Plane in Locating High Packet-Delay Variance Links for OpenFlow Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies	6. 最初と最後の頁 232 ~ 245
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-70639-5_22	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 該当する

1. 著者名 Tri Nguyen Minh, Shibata Masahiro, Tsuru Masato, Kawaguchi Akira	4. 巻 2021
2. 論文標題 Locating High-loss Links for OpenFlow Networks by Multiple Hosts to Probe Packets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. the 23rd IEEE Intl. Conf. on Advanced Communications Technology	6. 最初と最後の頁 455--460
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/ICACT51234.2021.9370812	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 該当する

[学会発表] 計2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 永倉 紘大, 柴田将拓, 鶴 正人
2. 発表標題 迅速な高パケットロスリンク検知のためのアクティブ計測手法のP4技術を用いた設計
3. 学会等名 情報処理学会火の国情報シンポジウム
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Takumi Yoshida, Masahiro Shibata, Masato Tsuru
2. 発表標題 Towards a P4-based Dynamic In-Band SDN Control Channel
3. 学会等名 2022 電子情報通信学会総合大会
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------