

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01825

研究課題名（和文）フォグネットワーキングによるネットワークのスマート化に関する研究

研究課題名（英文）Research on making networks smarter by fog networking

研究代表者

高橋 豊（Takahashi, Yutaka）

京都大学・情報学研究科・名誉教授

研究者番号：00135526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,400,000円

研究成果の概要（和文）：フォグネットワーキング環境の導入により、各種センサー、メータ、IoT機器などから収集した大規模データを中央サーバに集約して処理をするのではなく、ネットワークエッジに位置するサーバで一次処理を行い、内容圧縮されたデータだけを中央サーバに送信し、高次処理を行うことが可能になる。その結果、応答性能の向上とネットワークを介して送受信されるトラフィック量の削減さらには輻輳の回避も可能になる。本研究では並列分散処理、省電力運用さらにはネットワーク仮想化技術でもあるSDNも考慮した、各種サーバおよびネットワークの性能評価モデルを提案し、その数学的解析手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

フォグコンピューティングにおいては、データを収集した最寄りの場所で一次的な処理を行うが、その処理能力は限定的であり、クラウドコンピューティングおよびエッジコンピューティングとの連携が必要である。このため、データの処理に関しては並列分散処理、大規模データ送受信のQoS保証にはSDNによるネットワーク仮想化が肝要であり、これらの要因を考慮したシステム性能評価モデルを提案した。

研究成果の概要（英文）：With the introduction of the fog networking environment, instead of consolidating and processing large amounts of data collected from various sensors, meters, IoT devices, etc. on a central server, it becomes possible that servers located at the edge of the network perform primary processing of collected data and send compressed data to the central server which performs higher-level processing. As a result, it enables us to improve system performance, reduce the amount of traffic sent and received via the network, and avoid congestion. In this research, we proposed a performance evaluation models for various servers and networks, considering parallel distributed processing, power-saving operation, and SDN for network virtualization, and developed mathematical analysis methods for the proposed models.

研究分野：情報システム

キーワード：待ち行列 数理モデル化 解析評価 ネットワーク 情報システム

1. 研究開始当初の背景

インターネットを介したクラウド環境の出現から約20年が経過し、数多くのアプリケーションと無線デバイスの普及により、インターネット・バックボーンにおけるトラフィックは爆発的に増加している。セルラーネットワークにおける新規技術によりもたらされる通信容量増大にも関わらず、アプリケーションが求める多岐に亘る QoS (Quality of Service) 要求を満たすための適切な方策が長年の継続的課題になっている。データセンターの広範囲な活用が始まり、トラフィック集中と長距離パケット転送の結果、この問題は一層顕著に現われている。

これを根本的に解決するためには、エンドユーザからネットワーク距離が遠隔にある「クラウド」で種々の処理をするのではなく、ユーザに近接するネットワーク・エッジに機能移転を行う「フォグ・ネットワーキング」が有望であると思われる。すなわち「クラウド」が提供する計算・記憶・ネットワーク管理の機能の一部あるいは多くを、エンド・ユーザの PC あるいはネットワーク・エッジに位置するデバイスに移行することで、単に応答遅延が早くなるだけでなく、パケットのホップ数が減少するためにネットワーク全体のトラフィック抑制が可能になり、本格的な IoT 時代を迎え、デバイスの増加へのスケーラビリティが確保できる。

しかし過度に機能移転を行うとハードウェア、ソフトウェアさらにはネットワーク環境によっては、むしろ QoS の劣化を招く可能性がある。これは情報システム・情報ネットワークにおける集中型・分散型の良否と同じく、集中型である「クラウド」と分散型の「フォグ」の選択であり、この両者の最適組み合わせを図る必要がある。この方法論の開発は喫緊の課題であり、その基礎理論の確立を行うのが本研究の目的である。

IoT (Internet of Things) 時代の到来により、ノート PC、スマートフォンからタブレットに至る個人用情報機器、セットトップボックスからセルラー機器に至る情報伝送機器は既に数多く存在するとともに、今後も益々増加が見込まれる。

これらの機器においては計算・記憶・通信機能が著しく向上しているが、一方ではバッテリー駆動が多く、その電力消費に弱点がある。従来の情報システム、情報ネットワークにおける分散型・集中型に関する議論では、エネルギー消費の観点からの考慮はなされておらず、フォグネットワーキングにおいてはこの点を考慮する必要がある。我々の行動様式の多様化さらにはモビリティ化に対応するには無線ネットワークの果たす役割はますますその重要性を増している。例えばフォグネットワーキングにおけるアプリケーションの一例としては、インターネットに常時接続されたコネクテッド・カーがある。ナビゲーションシステムでは、車に保存された地図情報を基に、VICS などから得られた渋滞情報に適應して、最適経路を案内している。クラウドサービスを使用するのではなく、計算・データ取得共にエンドユーザで行っているのである。フォグコンピューティングのさらなる進展を図るためには上記の例からも分かるように無線ネットワークをも考慮したモデル化および性能評価手法の確立が不可欠である。

2. 研究の目的

従来は手許の PC 環境に保持していたソフトウェア、データなどが、ネットワークを介して遠隔のサーバからサービスとして提供されるクラウドコンピューティングの普及が急速に進んでいる。ネットワークリソースも継続的に高速化・大容量化されているが、それにもまして扱われるデータ量が増加しており、ネットワークにおける輻輳回避は長年の課題である。本研究ではクラウド・サーバをネットワーク・エッジに設置することで、1) リアルタイムアプリケーションへの応答性能向上、2) ネットワークリソースの有効活用、3) セキュリティ保持能力の向上、4) イノベーション創出に向けた新規トライアル導入への即応性、などが期待されるフォグネットワーキングに関するネットワーク設計評価理論の構築を行い、ネットワークのスマート化を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、ネットワークの QoS (通信品質) だけを重視するのではなく、センサーなどが収集した情報の中身に応じたコンテキストウェアな通信制約を満たすために、通信環境に適應したネットワークデザイン論を考察した。さらにその性能評価のために数理モデルを提案し、その解析手法を開発した。

4. 研究成果

主要な成果は次の通りである。

フォグコンピューティングにおいて実時間性およびスケーラビリティを高めるにはその処理をより一層デバイス側にシフトすることが望まれる。本研究ではネットワークエッジに位置するサーバにオフローディングした場合に課題となるエッジサーバの最適運用を考察する数理モデルの提案とその性能解析法を開発した。エッジサーバにおける処理遅延を短くするためには最大処理能力で運用することが肝要であるが、そのためには大きなエネルギー消費を伴う。エッジサーバにおいてはバッテリーなどで駆動するものもあり、この場合にはエネルギー消費が重要な制約条件になる。すなわち処理遅延の低減とエネルギー消費の抑制はトレードオフの関係にあり、その関係性を定量的に考察するための基礎理論を開発した。具体的には処理要求が無い場合にはサーバは待機状態に移り、エネルギー消費を最低限に抑える。処理中および待機状態にある処理要求総数が事前に設定した閾値を超えた場合には、その段階で処理スピードを増加減することで、実時間性を満たしつつ、省エネルギー運用を図る数理モデルを考察した。

フォグコンピューティングおよびクラウドコンピューティングにおいては独立した単発の処理要求だけではなく、IoT時代を迎えバーチャルマシン（VM）などから発せられる処理要求もその割合が高まっている。後者の処理要求に関してはその発生時点で注目すると、発生過程に相関性が見られる。サーバのキャパシティプランニングを考える上で重要な役割を果たす従来活用されてきた数学的解析手法では独立な発生間隔を想定したものが殆どであるため、適用上の支障があった。本研究では相関性を考慮し、さらに省エネルギー運用を表現可能な性能評価モデルを提案し、その性能解析手法を開発するとともにエネルギー消費の最適化に言及した。

フォグコンピューティングにおいてはネットワークエッジに位置するサーバ群からそれぞれのトランザクションに応じて、応答性能の良い最適なサーバを選択し、そこへの経路を柔軟かつ最適に決定する必要がある。そのためにはパケット毎にその属性に依存し、時変するネットワークの状況を考慮したルーティングの採用が不可欠である。このような視点からネットワーク仮想化による送信遅延をはじめとする基本性能を定量的に評価するために SDN(Software Defined Network)を例にとり、数理モデルの提案と性能解析手法の開発を行った。

ネットワークエッジに配置された各物理サーバからのサービスは効率的運用のために複数に論理的に分割された VM(Virtual Machine)の1台から提供される。処理要求は順次待機中の VM に割り付けられるが、処理が割り付けられていない VM はエネルギー消費抑制のために機能を一時的に停止することが望ましい。一方、処理要求の発生状況により、機能停止（アイドル状態）から再度稼働状態あるいは待機状態に復帰するには準備時間が必要となる。このようなシステムの最適運用においてはエネルギーコスト削減効果のプラスの面と VM が一時的に機能停止することに起因するマイナス面を考慮する必要があり、数理モデルを基に Nash 均衡問題としてモデル化し、最適運用方策を考察した。

フォグネットワーキングにおいて、大規模データを取り扱うために長時間計算が必要なタスクに関してはクラウドネットワーキングとの連携で並列分散処理が必要になる。クラウド上で分散処理を行う際に、一般的には処理時間を早めるためには分割粒度を細かく設定し、並列度を高める。しかしそれに伴い、故障頻度も高まる、あるいは介在する低速マシンがタスク全体の処理完了を遅らせることになる。このような影響を考察する数学モデルを構築し、その性能解析手法を開発した。

SDN はスイッチ/ルータにおける基本的な処理である経路制御と転送処理を機能分離し、ネットワーク管理・実装・更新を柔軟かつ容易にするものであるが、これとフォグネットワーキングを融合することで信頼性に劣るフォグサーバの障害に即応できるネットワーク・アーキテクチャが構築できる。このための基本的数理モデルを構築し、その性能解析手法を開発した。

フォグネットワーキングにおいてはサーバの非稼働時には電源を OFF あるいは低消費電力モードに切り替え、省エネルギー化を図る必要がある。一方で省電力モードから稼働を再開するには若干の遅れが発生する。システムの適切な運用を決定するにはエネルギー消費の効率化と応答性能のトレードオフを考察する必要があり、このための数理モデルを提案し、その性能解析を行った。

フォグネットワーキング環境においては、各種センサー、メータなどから収集したデータを中央サーバに集約して処理をするのではなく、ネットワークエッジで一次処理を行い、その内容圧縮されたデータだけを中央サーバで高次処理をすることが可能になる。スマートグリッドを例にとり、AMI(Advanced Metering Infrastructure)の構成要素であるスマートメータが相互の協調でネットワークエッジまで計測情報を送信する数理モデルを開発し、その性能解析を行った。さらに省電力を考慮し、メータが非稼働時には電源を OFF にする場合に対応するモデルも開発し、その検討を行った。

大規模計算が必要なタスクを大量のクラスターマシンを使用して処理を行う並列分散システムにおいては、一部のマシンの障害あるいは処理速度の低下が全体性能に及ぼす影響が大きい。これを緩和するために各マシンの処理過程にチェックポイントを設けて、処理遅滞の有無を調べ、発見時には代替マシンが処理を引き継ぐ方策を考察した。定量的評価を行うために数理モデルを開発し、その性能解析を行い、全処理時間を最小化するチェックポイントの回数に関して検討を行った。

フォグコンピューティングにおいてはネットワークエッジに近く位置するマシンで処理を行う。これらのマシンにおいては局所的に存在するタスクを処理するため、負荷が低く、かつネットワークトラヒックも低減される。その結果、実時間制約の厳しいアプリケーションを収容可能であるが、処理遅延特性のより精密な評価が必要になる。このため、汎用性のあるGI/G/1型待ち行列を基に数理モデルを開発し、その定常分布の漸近特性を解析し、漸近公式を導出した。これを基に種々の利用環境におけるタスク処理の遅延に関してより一層精密な考察が可能になった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 31件 / うち国際共著 24件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuki Goto, Bryan Ng, Winston K.G. Seah, Yutaka Takahashi	4. 巻 164
2. 論文標題 Queueing analysis of software defined network with realistic OpenFlow-based switch model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computer Networks	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.comnet.2019.106892	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 Shunfu Jin, Haixing Wu, Wuyi Yue, and Yutaka Takahashi	4. 巻 16
2. 論文標題 Performance Evaluation and Nash Equilibrium of a Cloud Architecture with a Sleeping Mechanism and an Enrollment Service	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 2407-2424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2019060	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 Shunfu Jin, Xiuchen Qie, Wenjuan Zhao, Wuyi Yue, and Yutaka Takahashi	4. 巻 293
2. 論文標題 A Clustered Virtual Machine Allocation Strategy based on a Sleep-Mode with Wake-Up Threshold in a Cloud Environment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Annals of Operations Research	6. 最初と最後の頁 193-212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10479-019-03339-3	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 Xuena Yan, Shunfu Jin, Wuyi Yue, and Yutaka Takahashi,	4. 巻 11688
2. 論文標題 A MAP-Based Performance Analysis on an Energy-Saving Mechanism in Cloud Computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer	6. 最初と最後の頁 369-378
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-27181-7_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 Wenjuang Zhao, Xiushuang Wang, Shunfu Jin, Wuyi Yue, and Yutaka Takahashi	4. 巻 8
2. 論文標題 An Energy Efficient Task Scheduling Strategy in a Cloud Computing System and its Performance Evaluation using a Two-Dimensional Continuous Time Markov Chain Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronics	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/electronics8070775	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Badr Oulad Nassar and Takuji Tachibana	4. 巻 10
2. 論文標題 Path Splitting for Virtual Network Embedding in Elastic Optical Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Computer Networks & Communications	6. 最初と最後の頁 1-13
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 -

1. 著者名 Jianping Liu, Shunfu Jin, and Wuyi Yue	4. 巻 277
2. 論文標題 Performance Evaluation and System Optimization of Green Cognitive Radio Networks with a Multiple-Sleep Mode	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Annals of Operations Research	6. 最初と最後の頁 371-391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10479-018-3086-6	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 Shunfu Jin, Shanshan Hao, Xiuchen Qie, and Wuyi Yue	4. 巻 28
2. 論文標題 A Virtual Machine Scheduling Strategy with a Speed Switch and a Multi-Sleep Mode in Cloud Data Centers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Systems Science and Systems Engineering	6. 最初と最後の頁 194-210
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 Yuan Zhao and Wuyi Yue	4. 巻 15
2. 論文標題 Performance Evaluation and Optimization of Cognitive Radio Networks with Adjustable Access Control for Multiple Secondary Users	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2018029	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 Xiuchen Qie, Shunfu Jin, and Wuyi Yue	4. 巻 27
2. 論文標題 An Energy-efficient Strategy for Virtual Machine Allocation over Cloud Data Centers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Network and Systems Management	6. 最初と最後の頁 860-882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10922-019-09489	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 Badr Oulad Nassar and Takuji Tachibana	4. 巻 9
2. 論文標題 Physical Impairments Aware Virtual Optical Network Construction Algorithm with Service Differentiation in Elastic Optical Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Sensors Wireless Communications and Control	6. 最初と最後の頁 468-479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2174/2210327909666190207154346	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 Badr Oulad Nassar and Takuji Tachibana	4. 巻 26
2. 論文標題 Adaptive Burst Reordering for Burst-Cluster Transmission to Improve Fairness in OBS Networks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High-Speed Networks	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/JHS-200625	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 Zsolt Saffer, Karl Grill, and Wuyi Yue	4. 巻 11688
2. 論文標題 M/M/1 Queue with Controllable Service Rate	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer	6. 最初と最後の頁 95-111
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 -

1. 著者名 Tsuguhito Hirai, Hiroaki Masuyama, Shoji Kasahara, and Yutaka Takahashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Performance Optimization of Parallel-Distributed Processing with Checkpointing for Cloud Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1423-1442
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2018014	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 Haixing Wu, Shunfu Jin, Wuyi Yue, Yutaka Takahashi	4. 巻 10932
2. 論文標題 Performance Evaluation for a Registration Service with an Energy Efficient Cloud Architecture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer	6. 最初と最後の頁 133-141
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-93736-6_10	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 Wenbo Wang, Zhanyou Ma, Wuyi Yue, and Yutaka Takahashi	4. 巻 10932
2. 論文標題 Performance Analysis of a Dynamic Channel Vacation Scheme in Cognitive Radio Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS), Springer	6. 最初と最後の頁 182-190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-93736-6_10	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 Shunsuke Matsuzawa, Satoru Harada, Kazuya Monden, Yukihiro Takatani, and Yutaka Takahashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Effect of Mobility of Smart Meters on Performance of Advanced Metering Infrastructure	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1495-1510
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 -

1. 著者名 Tatsuaki Kimura, Hiroyuki Masuyama, and Yutaka Takahashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Light-tailed asymptotics of the stationary distributions of GI/G/1-type Markov chains	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 2093-2146
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 -

1. 著者名 Zhao Yuan, Yue Wuyi	4. 巻 12
2. 論文標題 Performance analysis and optimization of cognitive radio networks with retransmission control	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Optimization Letters	6. 最初と最後の頁 1281 ~ 1300
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11590-017-1119-8	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 Shunfu Jin, Xiushuang Wang, and Wuyi Yue	4. 巻 10932
2. 論文標題 A Task Scheduling Strategy with a Sleep-Delay Timer and a Waking-Up Threshold in Cloud Computing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	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) 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 Xiuchen Qie, Shunfu Jin, and Wuyi Yue	4. 巻 10932
2. 論文標題 A Clustered Virtual Machine Allocation Strategy Based on an N-Threshold Sleep-Mode in a Cloud Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	6. 最初と最後の頁 124-132
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 Wenjuan Zhao, Shunfu Jin, and Wuyi Yue	4. 巻 11688
2. 論文標題 Analysis of the Average Confirmation Time of Transactions in a Blockchain System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Lecture Notes in Computer Science (LNCS)	6. 最初と最後の頁 379-388
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 Jin Shunfu, Wu Haixing, Yue Wuyi	4. 巻 22
2. 論文標題 Pricing policy for a cloud registration service with a novel cloud architecture	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Cluster Computing	6. 最初と最後の頁 271 ~ 283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10586-018-2854-z	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 Zhao Dongmei, Jin Shunfu, Yue Wuyi	4. 巻 28
2. 論文標題 System Model and Equilibrium Strategy of Mobile Users in a Hybrid Access Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Systems Science and Systems Engineering	6. 最初と最後の頁 224 ~ 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11518-018-5403-7	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 Zhao Yuan, School of Computer and Communication Engineering, Northeastern University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China, Yue Wuyi, Department of Intelligence and Informatics, Konan University, Kobe 658-8501, Japan	4. 巻 16
2. 論文標題 Performance analysis and optimization for cognitive radio networks with a finite primary user buffer and a probability returning scheme	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Industrial & Management Optimization	6. 最初と最後の頁 1119 ~ 1134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2018195	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 Cui Yu, Jin Shunfu, Yue Wuyi, Takahashi Yutaka	4. 巻 2021
2. 論文標題 Performance Optimization of Cloud Data Centers with a Dynamic Energy-Efficient Resource Management Scheme	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Complexity	6. 最初と最後の頁 1 ~ 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2021/6646881	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 Yan Xuena, Jin Shunfu, Yue Wuyi, Takahashi Yutaka	4. 巻 18
2. 論文標題 Performance analysis and system optimization of an energy-saving mechanism in cloud computing with correlated traffic	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Industrial and Management Optimization	6. 最初と最後の頁 3133 ~ 3154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2021106	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 ZHAO Yuan, YUE Wuyi, TAKAHASHI Yutaka	4. 巻 E105.B
2. 論文標題 Comparison of a Probabilistic Returning Scheme for Preemptive and Non-Preemptive Schemes in Cognitive Radio Networks with Two Classes of Secondary Users	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEICE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 338 ~ 346
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transcom.2021EBP3082	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 Ma Zhanyou, Wang Wenbo, Yue Wuyi, Takahashi Yutaka	4. 巻 18
2. 論文標題 Performance analysis and optimization research of multi-channel cognitive radio networks with a dynamic channel vacation scheme	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Industrial & Management Optimization	6. 最初と最後の頁 95 ~ 110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3934/jimo.2020144	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 Wu Haixing, Jin Shunfu, Yue Wuyi	4. 巻 31
2. 論文標題 Pricing Policy for a Dynamic Spectrum Allocation Scheme with Batch Requests and Impatient Packets in Cognitive Radio Networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Systems Science and Systems Engineering	6. 最初と最後の頁 133 ~ 149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11518-022-5521-0	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 Zhao Yuan, Yue Wuyi, Saffer Zsolt	4. 巻 310
2. 論文標題 Spectrum allocation strategy with a probabilistic preemption scheme in cognitive radio networks: analysis and optimization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Annals of Operations Research	6. 最初と最後の頁 621 ~ 639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10479-020-03885-1	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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 Badr Oulad Nassar and Takuji Tachibana
2. 発表標題 Degraded Provisioning of Spectrum and Holding time with QoS Assurance in Elastic Optical Networks
3. 学会等名 International Conference on Photonics in Switching and Computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yutaka Takahashi, Tuan Phung-Duc, Sabine Wittevrongel and Wuyi Yue	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 264
3. 書名 Queueing Theory and Network Applications	

〔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	岳 五一 (Yue Wuyi) (50234175)	甲南大学・知能情報学部・名誉教授 (34506)	
研究分担者	望月 バドル (Mochizuki Badr) (10838460)	京都情報大学院大学・その他の研究科・准教授 (34323)	

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			
中国	Yanshan University			
フランス	Universite Paris-Sud			
その他の国・地域 台湾	台湾国立交通大学			