

令和元年6月7日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01684

研究課題名(和文)世界最高水準のモバイルICT環境を実現する次世代情報通信基盤と応用実証

研究課題名(英文) Next generation networking infrastructure and application verification towards the most advanced mobile ICT system

研究代表者

甲藤 二郎 (Katto, Jiro)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：70318765

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 27,020,000円

研究成果の概要(和文)：本申請の研究開発課題として以下を設定した。基盤技術として、(1)無線通信履歴の取得、(2)履歴を活用した品質予測、(3)品質予測に基づく配信制御と経路探索、拡張技術として、(4)大規模化、セキュリティ、センサー活用、新無線技術、QoE評価、(5)プロトタイプ実装。(1)～(3)に関しては、機械学習を適用した通信品質予測、QoEを最大化する適応配信制御、通信品質を最大化する移動経路提示、等の提案を行った。(4)～(5)に関しては、クラウド拡張、センサー利用による精度改善、実ネットワークにおける実装評価実験、等を行った。その上で、一連の研究成果を、査読付きの国際学会と論文誌で発表した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Cisco社の報告によれば、現在のインターネットトラフィックは約8割を映像コンテンツが占め、さらに移動しながら視聴するモバイルビデオのトラフィックが増加の一途にあると言われている。一方で、移動時に実際に映像視聴を試みると、映像再生が止まったり、無線通信が途切れたりする状況が頻発する。本申請の研究成果は、このような映像配信応用において、過去の通信履歴を活用し、通信品質の変化を予測したり、高い通信品質の経路を紹介することで、無線通信、ならびに映像配信の安定化を図るものである。また、その応用は映像に限定されるものでもなく、モバイル通信全体の品質改善、安定化に帰するものと考えている。

研究成果の概要(英文)：We set next research & development issues in this project. As core techniques, (1) collection of wireless communication records, (2) prediction of wireless communication quality based on the record history, and (3) delivery control and route navigation based on the quality prediction. As extension techniques, (4) large scale deployment, security, sensor assist, new wireless communication support, and QoE evaluations, and (5) prototype implementations. For (1) to (3), we proposed quality prediction methods using machine learning, adaptive delivery control maximizing QoE metrics, and moving route navigation maximizing communication quality such as throughputs. For (4) to (5), we tried cloud system extension, performance improvement by using additional sensors and implementation experiments over actual networks. Finally, we published our research contributions in international conferences and transactions with peer reviews.

研究分野：画像通信

キーワード：モバイルネットワーク

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

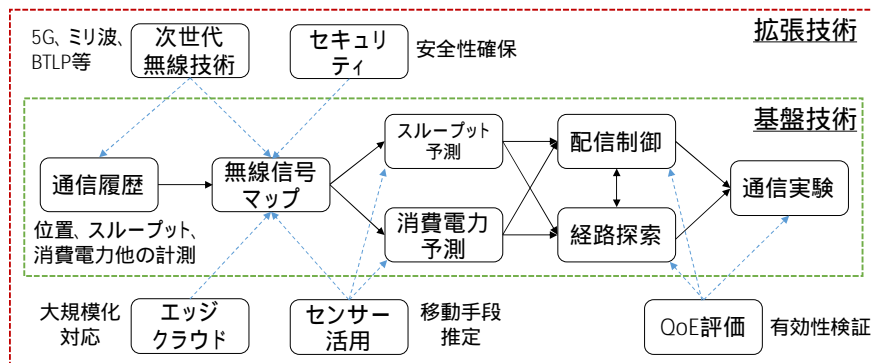
本研究開発の開始当初からインターネットにおける映像コンテンツが占める割合が増加の一途にあることは指摘されていた。一方で、第5世代移動通信システム(5G)や無線LAN新規格(IEEE 802.11ax)は検討が開始されたところで、UHD映像(4K・8K)の普及はまだ試験放送が検討されている段階であった。当時から、特に移動環境における映像配信の不安定性は指摘されており、無線通信網の高速化が見込まれる一方で、映像コンテンツの大容量化も見込まれており、安定した映像配信を実現する技術開発が求められていた。

2. 研究の目的

本研究開発は、クラウドソーシング的に、無線通信品質を位置、時間と共に記録していき、数秒間の信号レベルの短期予測と、朝昼晩、平日・祝日等のカレンダーレベルの長期予測の組み合わせによって、位置と時間に応じた映像配信の安定化を目的とするものである。また、本研究開発では、映像コンテンツを主な検討対象とするが、これに限定されるものではなく、モバイル通信そのものの安定化に貢献しうる技術開発を試みる。

3. 研究の方法

本研究開発の基盤技術として、(1)無線通信履歴の取得と無線品質マップの作成、(2)無線通信履歴を活用した無線通信品質予測、(3)無線通信品質予測を活用した途切れない適応配信制御と通信品質を最大化する経路探索、等に関する研究開発を進める。また、本研究開発の拡張技術として、(4)大規模化のためのクラウド活用、セキュリティ課題の緩和、センサー活用による高性能化、5Gや802.11ax等の新無線技術への対応、バイオセンシングも含めたQoE評価、(5)具体的なアプリケーションに関するプロトタイプ実装、等に関する検討を進める。



4. 研究成果

(1) 無線通信履歴の取得

位置、時間と共に無線通信品質を計測し、サーバ(クラウド)上にアップロードするスマートフォンアプリケーションを自作し、大学周辺や新宿駅周辺におけるデータ収集を行った。その結果として、セルラー基地局や無線LANアクセスポイントの記録を行うとともに、場所や時間に応じた無線通信品質のヒートマップも作成した。

(2) 無線通信履歴を活用した無線品質予測

収集した無線通信履歴を元に、上記のヒートマップに対応する、位置と時間毎のスループットや消費電力の平均値と分散から成る確率分布モデルを作成した。これを元に、無線通信履歴を活用しない方式との比較実験として、無線通信履歴を活用して適応的に通信速度を選択する方式を提案し、実験結果として有効性を実証した。また、過去数秒間の無線通信品質観測値(スループット等)から未来の無線通信品質を予測する方式を検討し、時系列として、線形回帰、隠れマルコフモデル、深層学習を利用する方式を順に提案し、実験結果として有効性を実証した。

(3) 無線品質予測に基づく適応配信制御と経路探索

数秒先の無線通信品質を予測し、それによってQoE推定式を最大化する適応配信制御方式を提案し、実験結果として有効性を実証した。また、無線通信品質ヒートマップを活用し、従来の最短距離の移動経路ではなく、無線通信品質を最大化する移動経路を提示するナビゲーション応用を提案し、実験結果として有効性を実証した。

(4) 大規模化対応

システムの大規模化を想定し、研究開発当初から商用クラウド(兼コアクラウド)を用いたシステム整備を行った。また、研究室内にはプライベートクラウド(兼エッジクラウド)を構築し、端末(スマートフォン)、エッジクラウド、コアクラウドから成る階層クラウドシステムを構築した。

(5) セキュリティ課題

クラウドに対するマルウェア対策として、トラヒックの類似性分析等に関する検討を進め、成果発表を行った。

(6) センサー活用による精度改善

スマートフォンが搭載する加速度センサーやジャイロセンサーを活用し、センシングデータから、人間の移動手段（静止、徒歩、自転車、バス、電車等）を推定する移動手段推定アルゴリズムに関する検討を行った。また、並行して、無線通信品質パラメータのみ（スループット、無線受信電力、基地局 ID）を使用し、同様の移動手段推定を行う方式の検討も進めた。方向として、移動手段推定を行い、移動手段に応じて通信品質予測のための確率モデルを切り替えることで、予測精度を改善できることが見込まれる。それぞれ、具体的な手法としては機械学習を活用し、ランダムフォレスト、サポートベクトルマシン、深層学習を用いた方式を検討比較し、実験結果として有効性を実証した。

(7) 新無線技術への対応

主に第 5 世代移動通信システムへの貢献を想定し、スモールセルとマクロセルを組み合わせた同時配信、ゲーム理論を活用した省電力無線通信、全二重通信によるマルチホップ通信などの検討を進め、それぞれ、実験結果として有効性を実証した。また、第 5 世代移動通信システムでの使用が想定される 28GHz 帯や 60GHz 帯における動画像伝送の実機実験も行った。

(8) QoE 評価

まず、期間を通じて、バイオセンシングデバイスを用いた QoE 評価に関する検討を進めた。これは、従来の主観画質（QoE）評価を行うだけでなく、視線（注視点）、心拍数、脳波、感情などが QoE に与える影響を評価するものである。また、並行して、機械学習を活用した画質推定に関する検討も行った。機械学習としては、サポートベクトル回帰や深層学習を使用し、入力静止画像や入力動画像の主観画質を推定するアルゴリズムを提案し、実験結果として有効性を実証した。

(9) アプリケーションのプロトタイプ実装。

無線通信品質が最大になる移動経路を提示するナビゲーションシステム（快適経路ナビゲーション）、エッジクラウドの処理結果に従ってコアクラウドへの伝送量を制御する適応分散処理システム、および、MPEG-DASH による 4K 映像配信システムのプロトタイプ実装を行った。

5. 主な発表論文等

雑誌論文 11 件（すべて査読付き）、学会発表 254 件（内、招待講演 8 件、査読付き国際学会 71 件）の成果発表を行った。

〔雑誌論文〕(計 11 件)

[1] Zhengxue Cheng, Masaru Takeuchi, Kenji Kanai and Jiro Katto: “A Fully-blind and Fast Image Quality Predictor with Convolutional Neural Networks,” IEICE Trans. on Fundamentals Vol.E101-A, No.9, pp.1557-1566, Sep.2018.

[2] Bo Wei, Kenji Kanai, Wataru Kawakami and Jiro Katto: “HOAH: A Hybrid TCP Throughput Prediction with Autoregressive Model and Hidden Markov Model for Mobile Networks,” IEICE Trans. on Comm., Vol.E101-B, No.7, pp.1612-1624, July.2018.

[3] Kenji Kanai, Sakiko Takenaka, Jiro Katto and Tutomu Murase: “Energy-efficient Mobile Video Delivery utilizing Moving Route Navigation and Video Playout Buffer Control,” IEICE Trans. on Comm., Vol. E101-B, No.7, pp.1635-1644, July.2018.

[4] Yohei Hasegawa and Jiro Katto: “A Transmission Control Protocol for Long Distance High-Speed Wireless Communications,” IEICE Trans. on Comm., Vol.E101-B, No.4, pp.1045-1054, Apr.2018.

[5] 長谷川洋平, 甲藤二郎: “TCP/IP データ転送高速化システムの開発と実証,” 電子情報通信学会論文誌, Vol.J101-B, No.10, pp.841-856, Oct.2018.

[6] Kang Kang, Rong Ye, Zhenni Pan, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Full-Duplex Wireless Powered IoT Networks,” IEEE Access, Vol.6, pp.53546-53556, 2018.

[7] Kang Kang, Rong Ye, Zhenni Pan, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Energy Splitting for SWIPT in QoS-constraint MTC Network: A Non-Cooperative Game Theoretic Approach,” International Journal of Computer Networks & Communications, Vol.10, No.5, pp.105-116, 2018.

[8] Z. Pan, J. Liu, S. Shimamoto: “Traffic-aware Energy Optimizing Strategies for Multi-cell Coordinated Green Cellular Networks,” IEEE Trans. on Green Communications and Networking, Vol.2, No.2, pp.418-431, 2018.

[9] Kenji Kanai, Keigo Ogawa, Masaru Takeuchi, Jiro Katto and Toshitaka Tsuda: “Intelligent Video Surveillance System Based on Event Detection and Rate Adaptation by

Using Multiple Sensors,” IEICE Trans. on Comm., Vol.E101-B, No.3, pp.688-697, Mar.2018.
 [10] Kenji Kanai, Kentaro Imagane and Jiro Katto: “Overview of Multimedia Mobile Edge Computing,” ITE Transactions on Media Technology and Applications, Vol.6, No.1, pp.46-52, Jan.2018 (invited).
 [11] Kenji Kanai, Takeshi Muto, Jiro Katto, Shinya Yamamura, Tomoyuki Furutono, Takafumi Saito, Hirohide Mikami, Kaoru Kusachi, Toshitaka Tsuda, Wataru Kameyama, Yong-Jin Park and Takuro Sato: “Proactive Content Caching for Mobile Video utilizing Transportation Systems and Evaluation through Field Experiments,” IEEE Journal of Selected Area in Communications, Vol.34, No.8, pp.2102-2114, Aug.2016.

〔学会発表〕(計 254 件)

計 254 件中、招待講演 8 件、国際学会 71 件(査読付き)、以下は 2018 年度の国際学会から抜粋。

- [1] K.Hirao, Z.Cheng, M.Takeuchi and J.Katto: “Convolutional Neural Network Based Inverse Tone Mapping for High Dynamic Range Display Using LUCORE,” IEEE ICCE 2019.
- [2] Y.Sakamoto, R.Yokoyama, M.Takeuchi, Y.Matsuo and J.Katto: “Improvement of H.265/HEVC Encoding for 8K UHD TV by GOP Size and Prediction Mode Selection,” IEEE ICCE 2019.
- [3] Bo Wei, Wataru Kawakami, Kenji Kanai, Jiro Katto and Shanguang Wang: “TRUST: A TCP Throughput Prediction Method in Mobile Networks,” IEEE Globecom 2018, Dec.2018.
- [4] Suphakit Awiphan, Kanin Poobai and Jiro Katto: “Adaptive Video Streaming on Named Data Networking with IoT-Assisted Content Delivery,” ICSEC 2018.
- [5] K.Hirao, Z.Cheng, M.Takeuchi and J.Katto: “Deep Inverse Tone Mapping Optimized for High Dynamic Range Display,” ICTC 2018.
- [6] Wataru Kawakami, Kenji Kanai, Bo Wei and Jiro Katto: “Machine Learning based Transportation Modes Recognition using Mobile Communication Quality,” IEEE ICME 2018.
- [7] Zhengxue Cheng, Masaru Takeuchi, Kenji Kanai, and Jiro Katto: “A Fast No-Reference Screen Content Image Quality Prediction using Convolutional Neural Networks,” IEEE MLAI 2018.
- [8] Zhengxue Cheng, Heming Sun, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: “A Deep Convolutional AutoEncoder-based Lossy Image Compression,” IEEE PCS 2018.
- [9] Zhengxue Cheng, Heming Sun, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: “Performance Comparison of Convolutional AutoEncoders, Generative Adversarial Networks and Super-Resolution for Image Compression,” IEEE CLIC 2018.
- [10] Airi Sakaushi, Mayuko Okano, Kenji Kanai and Jiro Katto: “Performance Evaluations of Software-Defined Acoustic MIMO-OFDM transmission,” IEEE WCNC 2018.
- [11] Suphakit Awiphan, Kanin Poobai, Kenji Kanai and Jiro Katto: “Proactive Interest Adaptation and Content Caching for Adaptive Bit-Rate Video Streaming Over NDN,” ICCCS 2018.
- [12] Tianran Luo, Eng Keong Lua, Tutomu Murase: “Relay Probability Characteristics in a Social Ad-hoc Network with Different Intimacy Calculation Models and Social Network Structure Models,” IEEE Black Sea Com 2018.
- [13] Tomoki Ito, Hirofumi Noguchi, Yoji Yamato, Tutomu Murase: “Transaction Offloading for Access Management to Live Data of IoT in Information-Centric Network,” IEEE GCCE2018
- [14] Tomoki Ito, Misao Kataoka, Hirofumi Noguchi, Yoji Yamato, Tutomu Murase: “Network Architecture with Categorizing Metadata by Locality and Lifetime for IoT Database Management,” WPMC2018.
- [15] Toshitaka Yagi, Tutomu Murase: “Frame Aggregation Control for High Throughput and Fairness in Densely Deployed WLANs,” ACM IMcom 2019.
- [16] Yukino Yamaoka, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Detections of pulse and blood pressure employing 5G millimeter wave signal,” IEEE Consumer Communications and Networking Conference.
- [17] Kazutoshi Yoshii, Megumi Saitou, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Prediction of Ionospheric Fading for Long Distance Emergency Communication,” IEEE International Conference on Communications Workshops.
- [18] Yanan Gao, Yukino Yamaoka, Yoshimitsu Nagao, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Non-invasive Glucose Measurement based on Ultrasonic Transducer and Near IR Spectrometer iCatse,” International Conference on Mobile and Wireless Technology
- [19] Takashi Koshimizu, Huan Wang, Zhenni Pan, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: “Normalized Multi-Dimensional Parameter based Affinity Propagation Clustering for Cellular V2X,” IEEE WCNC2018.

- [20] R.Hagiwara, H.Inata, Y.Okouchi, J.Liu, S.Shimamoto: "3D Radio Signal Visualization Employing Drone," IEEE CCNC 2018.
- [21] Huan Wang, Koshimizu Takashi, Zhenni Pan, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: "Signal Priority Management for Bus with V2I Network," Japan Society for Simulation Technology.
- [22] Tojoarisoa Rakotoaritina, Megumi Saito, Zhenni Pan, Jiang Liu and Shigeru Shimamoto: "Multilayered Metamaterial-Enhanced Magnetic Induction Communication Scheme within the context of IoT," Japan Society for Simulation Technology.
- [23] Bayisa Taye Mulatu, Zhenni Pan, Jiang Liu, Shigeru Shimamoto: "Contention-Based SCMA for Narrow-Band Internet of Things using Sequential Learning," Japan Society for Simulation Technology.
- [24] Masatsugu Ichino, Yuuki Mori, Mitsuhiro Hatada, Hiroshi Yoshiura: "Detection of Malware Infection using Traffic Models based on the Similarity between Malware Samples," IWIN (International Workshop on Informatics) 2018.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称: 端末装置、通信システム、および、コンピュータプログラム

発明者: 村瀬勉、平井健士

権利者: 名古屋大学

種類: 特許

番号: 特願 2016-028142

出願年: 2016

国内外の別: 国内

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 村瀬 勉

ローマ字氏名: Tutomu Murase

所属研究機関名: 名古屋大学

部局名: 情報基盤センター

職名: 教授

研究者番号(8桁): 10530941

研究分担者氏名: 金井 謙治

ローマ字氏名: Kenji Kanai

所属研究機関名: 早稲田大学

部局名: 理工学術院

職名: 次席研究員

研究者番号 (8桁): 40732160

研究分担者氏名: 嶋本 薫

ローマ字氏名: Shigeru Shimamoto

所属研究機関名: 早稲田大学

部局名: 理工学術院

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 80235639

研究分担者氏名: 亀山 渉

ローマ字氏名: Wataru Kemayama

所属研究機関名: 早稲田大学

部局名: 理工学術院

職名: 教授

研究者番号 (8桁): 90318858

研究分担者氏名: 市野 将嗣

ローマ字氏名: Masatsugu Ichino

所属研究機関名: 電気通信大学

部局名: 大学院情報理工学研究科

職名: 准教授

研究者番号 (8桁): 80548892

研究分担者氏名: 津田 俊隆 (2017年度まで)

ローマ字氏名: Toshitaka Tsuda

所属研究機関名: 早稲田大学

部局名: 理工学術院

職名: 客員上級研究員

研究者番号 (8桁): 80465377

(2)研究協力者

研究協力者氏名:

ローマ字氏名:

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。