

# 高効率で省電力な IoT・ビッグデータ処理基盤

研究代表者 甲藤 二郎  
(基幹理工学部 情報通信学科 教授)

## 1. 研究課題

各種センサ、スマートフォン、自動車、列車、移動ロボット等、IoT (Internet of Things) デバイスは多岐に渡り、またそのセンシングデータも、加速度、温度等の小容量データから高精細映像等の大容量データまで、あるいは、SNS (Social Networking Service)等の遅延要求の緩いものから自動運転、Industry 4.0 等の遅延要求の厳しいものまで、これまた多岐に渡っている。また、災害時や大きなイベント時にはバースト的に大量のデータが発生するが、どのような環境下でも安全かつ高信頼なセンシングを確保すると共に、適切な情報を抽出できるデータ処理技術の確立が求められている。さらには、東日本大震災時の反省に基づき、電力供給が限られた中でも長時間動作可能な省電力化技術の確立が求められている。

そこで本申請では、高効率 (高スループット)、低消費電力、低遅延、かつ安全な IoT センシングデータの収集技術、センシングデータが爆発的に発生した場合にも柔軟に対応可能な階層化モバイルクラウドの構築技術、ならびにそれらの研究成果の有効性実証のための高機能テストベッドの開発、に関する研究開発を進める。最終的には、プロトタイプ実装を通じて提案方式の有効性を実証し、具体的な出口としての東京オリンピック、運輸・自動車、医療・健康、農業・林業等の社会的課題の解決と産業貢献、ならびに、安心・安全な IoT・ビッグデータ処理基盤の構築に資することを目標としている。

2019 年度の研究成果としては、屋内環境で 5G ネットワークの 28GHz 帯を用いた通信を想定し、羽田空港駅における実機実験と研究室内のエミュレーション実験を併用して複数の TCP の性能比較実験を行うと共に、インターネット上の 360 度映像配信を想定し、機械学習を用いて視聴者の視野位置に応じて 360 度映像の配信エリアを適応的に制御する方式を提案し、シミュレーション評価として有効性を実証した。

## 2. 主な研究成果

### 2.1. 屋内環境下の第五世代移動通信 28GHz 帯通信におけるスループット特性評価

#### 2.1.1. はじめに

近年、IoT (Internet of Things) の発達や、4K/8K 映像、Virtual Reality (VR)/ Augmented Reality (AR)/ Mixed Reality (MR) の登場など、メディアコンテンツの多様化によりにより通信トラフィック量は増加の一途を辿り、Cisco Visual Networking Index による IP トラフィック予測 [1]では、2017 年から 2022 年の間で全世界のトラフィックは 3 倍近く増大すると予測されている。さらに、2020 年はオリンピック・パラリンピックが東京で開催されるため、公共施設を対象に通信技術を活用した様々なサービスの開発が盛んに行われている。これらサービスの実現では、モバイルトラフィックが急激に増加すると予想され、高速かつ大容量な通信技術の実現が必須となる。

このような背景を踏まえ、全世界で第五世代移動通信（5G：5<sup>th</sup> Generation）の導入が進められている。5G では高速かつ大容量な移動通信技術（eMBB: enhanced Mobile Broad Band）が要件の一つとされ、eMBB の実現に向け、ミリ波帯を搬送波周波数として利用するミリ波通信が要素技術として採用されている。ミリ波通信では、従来の搬送波周波数帯と比較してより高い周波数帯を利用するため、より広い帯域幅での通信が可能となることに加え、LTE や Wi-Fi を利用した他のデバイスやシステムからの干渉を防ぐことができる。このことから、28GHz 帯を搬送波周波数帯とする（準）ミリ波通信を 5G で導入することが決定している。

一方、5G では、実用化に際し屋外環境のみでなく屋内環境を含む様々なユースケースも想定されている。特に屋内環境では、基地局を設置する高さが制限され、人体などの障害物により通信が遮断される可能性が高くなる。従来周波数帯による通信と比較すると、ミリ波帯通信ではその物理的な特性から障害物により通信品質が劣化しパケットロスが増加すると懸念されている。よって、屋内環境下における 5G ミリ波通信評価では、物理層の特性に加え TCP スループットの特性について評価する必要があると考える。

そこで、本研究では 5G ミリ波通信による eMBB の実現を目指し、特に屋内環境における 28GHz 帯の物理層及び TCP のスループット評価を、シミュレーション、実機計測、エミュレーション実験にて行う。特に、TCP スループットの評価では、RTT やパケットロス率が高い環境においてよりロバストな QoS 制御を達成するトランスポートプロトコルである TCP-FSO[2]の 28GHz 帯通信における有効性を従来の TCP と比較し評価する。

### 2.1.2. 関連技術 -TCP-FSO [2]-

TCP-FSO（Free-Space-Optical）は、光空間通信向けに開発された Transmission Control Protocol である。マルチレイヤー輻輳制御、パケットロス推定による再送制御等を実装しており、無線通信全般において、CUBIC-TCP を含む既存の TCP と比較しパケットロスに対してロバストな通信を実現するとともに、広帯域ネットワークの可用帯域を有効に活用することができる。

### 2.1.3. シミュレーション実験

実機実測実験及びエミュレーション実験に向け、5G 28GHz 帯通信についてシミュレーションにより評価する。ここでは MATLAB が提供する 5G Toolbox[3]を活用し、28GHz 帯電波伝搬及び 5G ダウンリンクスループットを評価する。

はじめに、式(1)に示すリンクバジェットにより受信電力強度を計算する。

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{BF} - L_{FS} - L_{FM} \quad (1)$$

$L_{FS}$ は式(2)に表される電波伝搬による距離減衰を表す。式(2)は羽田空港国際線ターミナル駅において、28GHz 帯通信による 5G 伝送系を用いて実測された値に基づき log 関数によりモデル化した式である。

$$L_{FS} = 17.8 \log_{10} d + 63.8 \quad (2)$$

以上による計算結果に基づき、MATLAB を利用して、物理層ダウンリンクスループットを計算する。その際、以下の 2 つの MCS 選択パターンを実装する。

- ✓ Aggressive: ある SNR 値において, MCS index 番号 0-14 の間で最も高いスループットを達成する MCS を選択する.
- ✓ Conservative: Aggressive の選択に対して index 番号が 3 つ低い MCS を選択する.

図 1 に送信電力及び MCS の選択パターンを変更した場合の通信距離に対する 5G ダウンリンクスループットを示す. 図 1 より, 送信電力が十分に高い場合 (47.6 dBm), 0~140m の通信距離ではスループットが飽和していることがわかる.

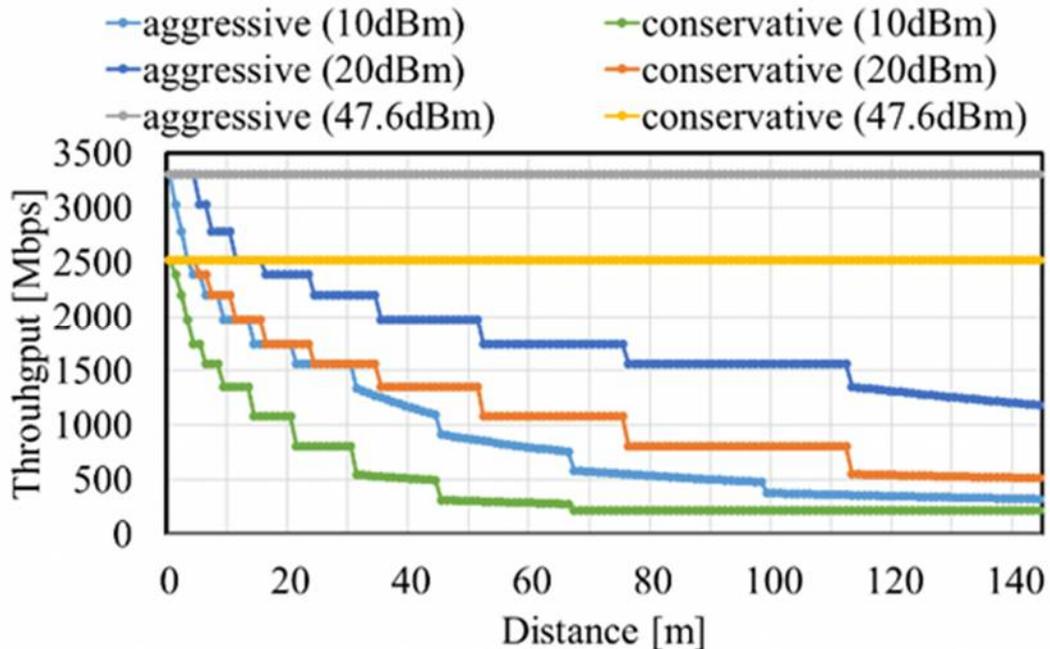


図 1 通信距離に対する 5G 物理層 DL スループット

さらに, Conservative による MCS 選択パターンでは Aggressive の場合と比較して約 1 Gbps 程度スループットが低い結果となり, 広帯域通信の実現には, MCS の選択パターンが重要であると言える.

#### 2.1.4. 実機実測実験

羽田空港国際線ターミナル駅プラットフォームにおいて, 5G 基地局及び端末を利用した 28GHz 帯通信による実測実験を行った. 本実験では, より実利用環境に近いシナリオを想定し, 5G 端末を持ってプラットフォームを移動した際のスループットを測定する.

28GHz 帯通信による移動時の物理層ダウンリンクスループットの実測結果を図 2 に示す. なお測定は, プラットフォーム端に設置された基地局前から測定を開始しプラットフォーム反対側まで約 120m の距離を 1m/s で歩いて移動するシナリオであった. 図 2 において, 破線は MCS の index 番号と SINR の実測結果に基づいて MATLAB によって計算されたシミュレーション結果を表し, 実線は実測結果を示している. 図 2 より, シミュレーション結果と比較すると, 実測結果は Conservative によるシミュレーション結果の値に近く, MCS 選択アルゴリズム次第では物理層スループットをさらに改善することができると期待できる.

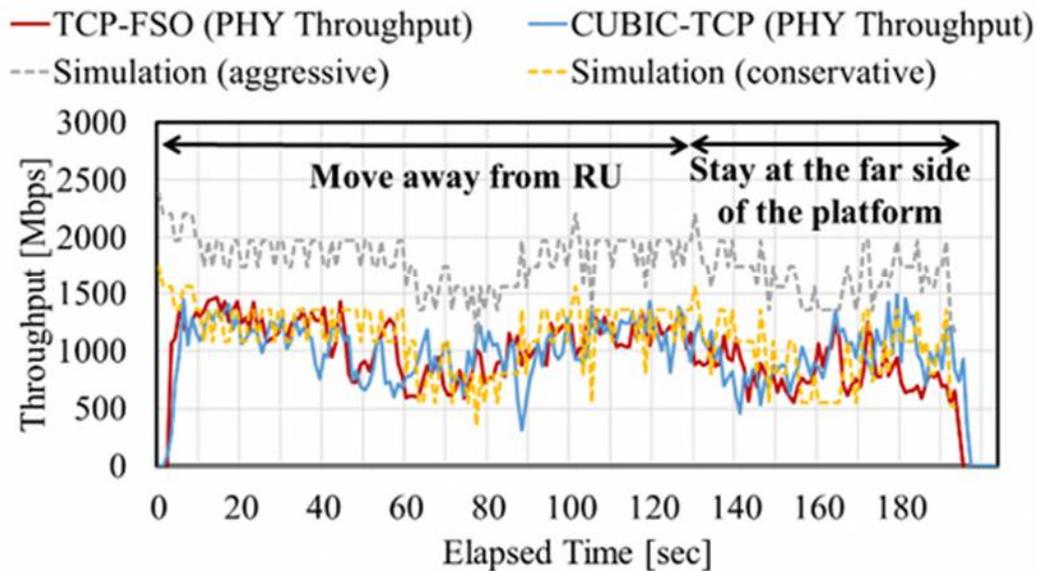


図 2. 28GHz 帯通信物理層 DL スループットの実測結果

### 2.1.5. エミュレーション実験

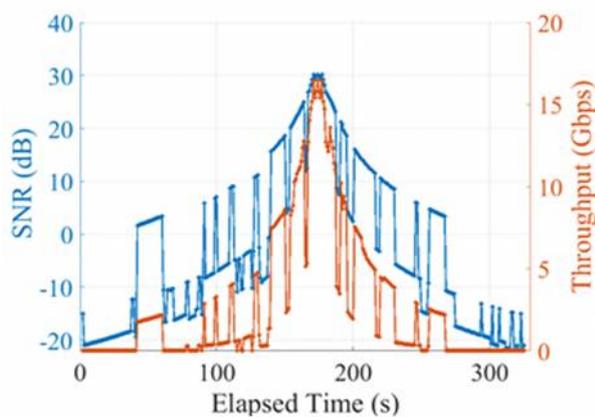
羽田空港国際線ターミナル駅プラットフォームにおける人体による遮蔽を考慮した 5G の TCP スループットをエミュレーションにより評価する。本評価では、5G 28GHz 帯通信における人体遮蔽による影響を考慮した電波伝搬をシミュレーション環境において評価し、TCP スループットをエミュレーション実験により評価する。その際、輻輳制御アルゴリズムとして TCP-FSO を採用し、TCP スループットの性能改善を評価する。

本評価では 100 人 (Low density : 0.063 人/m<sup>2</sup>), 500 人 (Middle density : 0.32 人/m<sup>2</sup>) の利用客をプラットフォーム上にランダムに配置し、BS と UE 間の人体遮蔽数による伝搬損失を考慮し SNR を計算する。その際、文献[4]による観測に基づき、人体遮蔽による伝搬損失モデルを構築する。

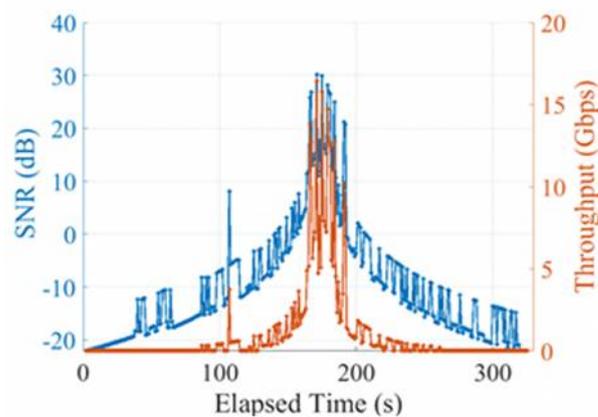
$$L_H(n) = 6.62 \log_e n + 14.4 \quad (3)$$

続いて、本シミュレーション結果に基づき、TCP 層のスループットを評価する。エミュレーション環境について、サーバ PC は 10GBASE-SR (MTU : 9000) を介してクライアント PC に接続され、iperf を使用して TCP 層のスループットを測定する。

図 3 に人体による遮蔽を考慮した 28GHz 帯通信における SNR 及び物理層スループットのシミュレーション結果、図 4 に TCP スループットのエミュレーション結果を示す。図 3 より、5G の基地局によるカバー範囲は人体遮蔽により大きく影響を受けると言える。また、RTT 及びパケットロス率をエミュレート (20/100ms, 0.01/0.1%) したエミュレーション結果(図 4)より、TCP-FSO は従来 TCP(CUBIC-TCP)と比較し各混雑度にてより高いスループットを維持する結果となった。以上より、TCP-FSO は TCP 層のロバスト性を改善し、5G ミリ波通信において従来 TCP と比較し効率的なネットワークリソース利用を達成できると結論づける。

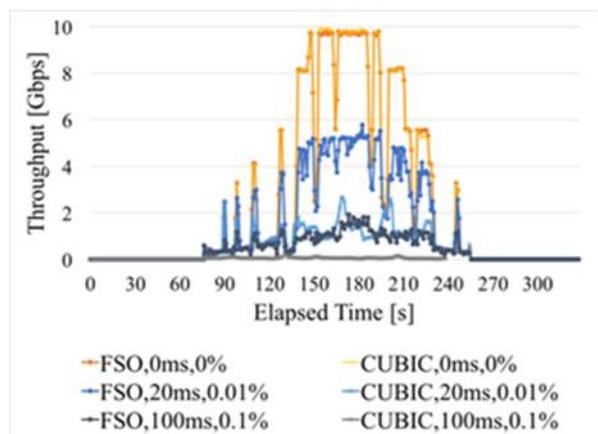


(a) Low density

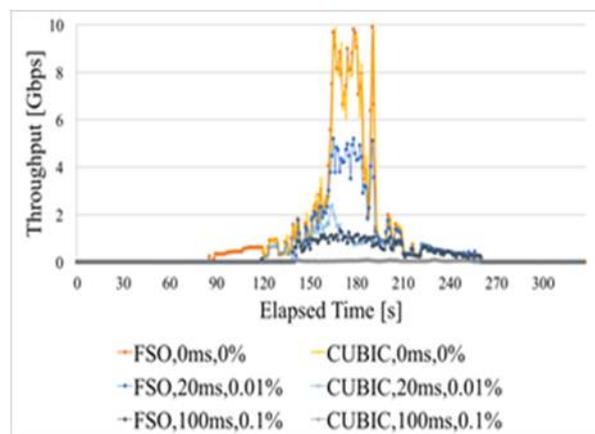


(b) Middle density

図 3.人体による遮蔽を考慮した 28GHz 帯通信における SNR 及び物理層スループット



(a) Low density



(b) Middle density

図 4.人体による遮蔽を考慮した 28GHz 帯通信における TCP スループット

### 2.1.6. まとめ

本研究では、屋内環境下における 28GHz 帯 5G 通信時の物理層及び TCP のスループットをシミュレーション、実測、さらに実測及びシミュレーションに基づくエミュレーションにより評価した。今後 5G の特徴を反映した環境における超高精細映像の伝送等のアプリケーション評価を予定している。

### 2.1.7. 参考文献

- [1] Cisco: “Cisco Visual Networking Index (VNI) : 予測とトレンド, 2017~2022 年” .
- [2] 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.
- [3] Math Works, 5G Toolbox [online]: <https://www.mathworks.com/products/5g.html>
- [4] 菅野一生他: “5Gに向けた28GHz帯における広帯域伝送の実証実験,” 信学技報RCS2017-177, pp.51-56, Oct.2017.

## 2.2. 効率的な 360 度映像配信に向けた視野予測および適応レート制御手法

### 2.2.1. はじめに

近年、VR コンテンツの普及が急速に進み、それに伴って高品質な 360 度映像配信の需要も高まっている[1]. 一方で 360 度映像は、4K/8K といった映像の高解像度化の流れに加え、広い視野角に対応することも求められているため、コンテンツの大容量化が懸念されている. これらの背景を踏まえて、360 度映像配信では、「高品質かつ低通信量」といった、より効率的な適応レート制御手法が研究されている[2].

本稿では、はじめに 360 度映像視聴時の視聴者の視野位置を予測し、その精度評価を行う. さらにその予測結果に基づいたタイルベース配信シミュレーションを行う. 複数の適応レート制御手法を提案し、その性能評価を行い、より効率的な 360 度映像配信を目指す.

### 2.2.2. 視野予測を用いた適応レート制御手法

本研究におけるタイルベース 360 度映像配信では、360 度映像を空間方向にタイル分割し、視野範囲に該当するタイル（視野タイル）に基づき適応レート制御を行う. 図 1 に映像配信システムの概要を示す.

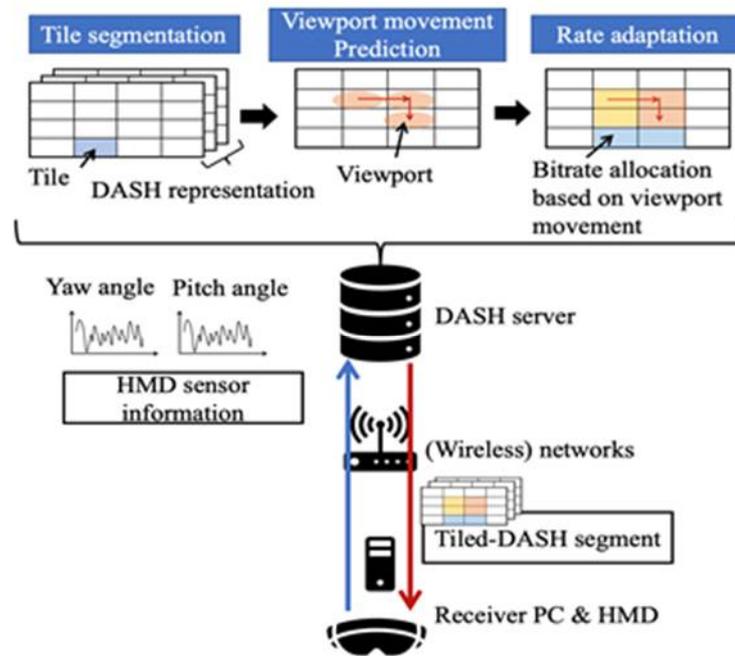


図 1. タイルベース 360 度映像配信システムの概要

本稿では、視野移動予測に基づく各タイルに割り当てるビットレート（品質）を適応変化させる適応レート制御手法を提案する. 前提として、360 度映像を空間方向に 64 個（縦 8 個×横 8 個）のタイルに分割する. 1~3 分程度の 10 種類の 360 度映像を用意し、310 人の視聴者にヘッドマウントディスプレイを通して視聴してもらうことで、合計 530 個の視野移動パターンをデータセットとして収集した. 視野移動予測については、Support Vector Machine によって、次の視野位置（視野タイル）を予測する多クラス分類問題として扱う. 収集データの 80%を学習用に、20%をテスト用として利用した. 過去の視野位置（視野移動パターン）から将来の視野位置を予測する.

次に、適応レート制御については、視野タイルの予測結果に基づいて、視野タイル並びにその周

辺タイルに割り当てるビットレートを制御する。提案した 5 種類のレート制御手法の概要を図 2 に示す。

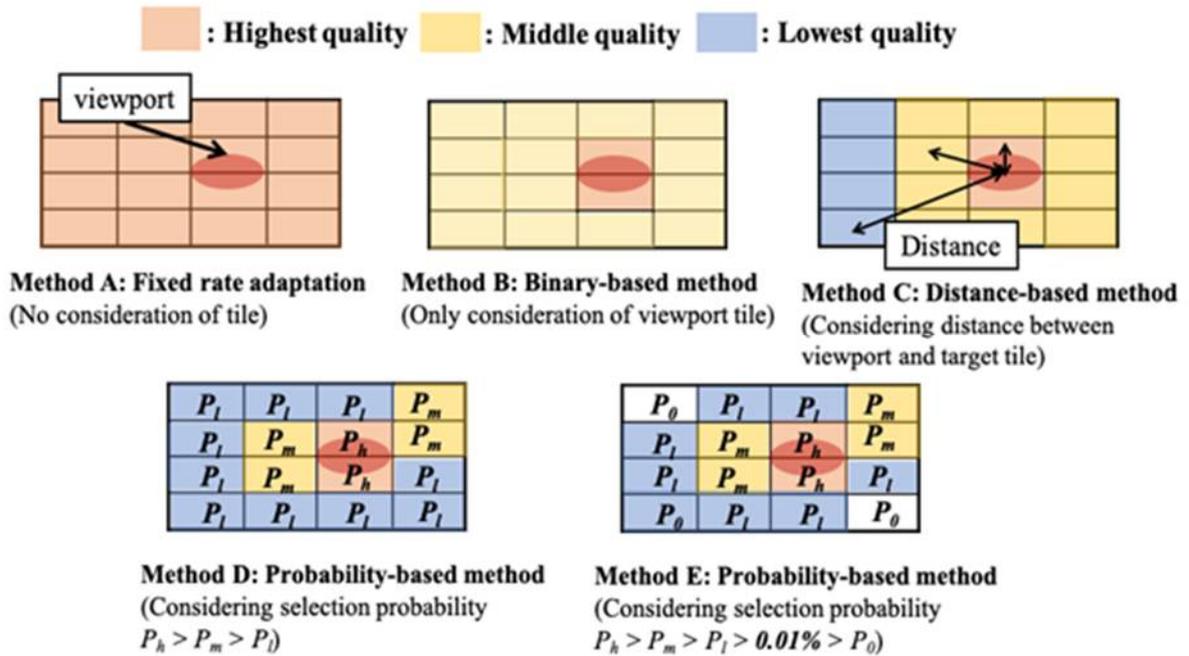


図 2. 適応レート制御手法概要

- Method A) 全タイルで最高品質タイルを選択 (固定レート)
- Method B) 視野タイルのみ最高品質タイル, それ以外は中間品質タイルを選択 (2 段階)
- Method C) 距離ベース制御 (視野タイルからの距離に応じて 4 段階の品質選択)
- Method D) 確率ベース制御 (各タイルの視聴確率に応じて 4 段階の品質選択)
- Method E) 手法 D をベースとした上で視聴確率 0.01%未満のタイルは送信しない

### 2.2.3. 評価実験および実験結果

はじめに, 視野予測の精度評価について示す. 視野移動パターンに加えて, コンテンツごとの特徴量である顕著性および音情報も学習に加え, 予測精度評価 (Precision) を行った. さらに, コンテンツごとにサンプル数の差があったため, クラスタリングを用いる ことにより, データセットをクラスタごとに分けた上で視野予測を行う. ウォード法による階層的クラスタリングの結果, 2つのクラスタに分かれたため, クラスタ 1, 2 とする. 図 3 にそれぞれのクラスタにおける予測精度結果を示す. 顕著性・音情報を考慮する場合/考慮しない場合についての違いも考察する.

図 3 の結果を見ると, すべてのデータセットおよびクラスタ 1 のデータセットに対して予測を行った場合, 予測精度が 85%近くあるのに対し, クラスタ 2 のデータセットの場合は 80%に届かなかった. クラスタ 2 の予測精度が低くなった理由として, クラスタ 2 のデータセットは「視野がよく動くもの」が多く, 予測が難しかったためであると考えられる. 顕著性・音情報の効果に関しては, クラスタ 1 では 2~3%ほど予測精度が向上したのに対し, クラスタ 2 で顕著性・音情報がノイズとなってしまい, 2%ほど予測精度が下がるという結果になった.

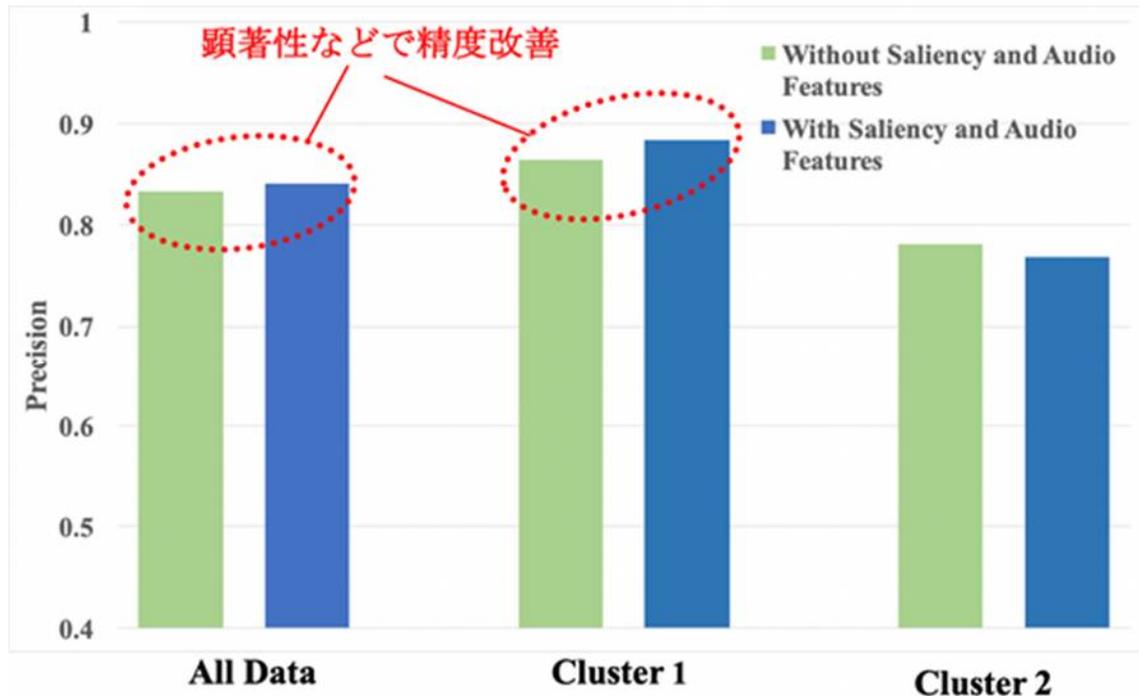


図 3. クラスタごとの視野予測精度結果

続いて、DASH[3]を用いた配信シミュレーション実験について示す。10種類の映像の中から Roller Coaster 映像を選択し、配信シミュレーション実験を行った。この映像は他と比べて高い予測精度を示し、またサンプル数が多かった(合計 105 回)ために選択した。映像の長さ/解像度は、60 秒/4K 30 fps である。dash.js を用いて実装されたプレイヤーから、タイル化された DASH セグメントをダウンロードする。DASH サーバ(動画サーバ)は、視野領域の移動パターンを事前に予測し、予測結果および通信帯域に従って、各タイルのレプリゼンテーションを適応的に選択する。今回は4種類の品質を用意し、圧縮レートはそれぞれ 20, 15, 10, 5 Mbps とする。動画画像圧縮には FFmpeg を用いており、H.264/AVC 形式でエンコードする。

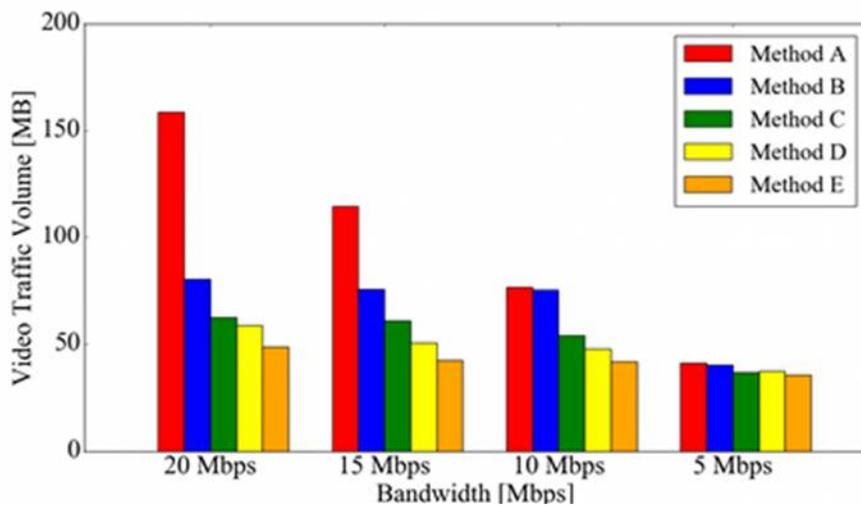
DASH サーバには、さくらクラウドを用いる。クライアント PC は研究室内にあり、5GHz 帯 Wi-Fi ネットワークを介して、DASH サーバからタイル化されたセグメントをダウンロードする。さらに、より現実的な環境にするために、トラフィック制御(tc)コマンドを使用して、ワイヤレスネットワークの帯域制限を行う。帯域制限の値は、20, 15, 10, 5 Mbps の4パターンとする。

これらの実験条件において、図 2 に示す 5 つのレート制御手法を用いた配信シミュレーションを行う。なお、サンプルの 80%は予測モデルの訓練に、20%を視野移動のシミュレーションとして用いる。視野領域 PSNR(Viewport PSNR)と総配信データ量を評価する。視野領域 PSNR は、画像フレーム全体ではなく、視野タイルのみから算出する。評価結果は、すべての画像フレームの平均の視野領域 PSNR を示している。

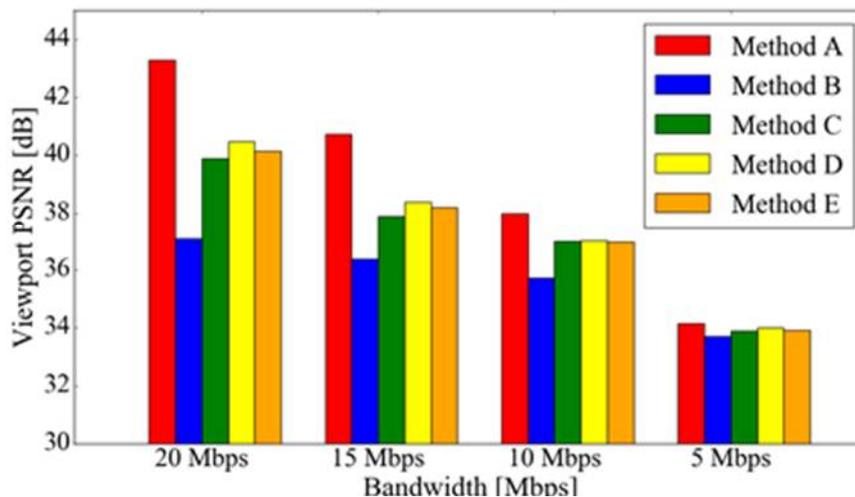
図 4 に各制御手法における平均総配信データ量と視野領域 PSNR の結果を示す。図 4 より、手法 C~E は手法 B に比べ、「高品質かつ低通信量」な結果を達成していると言える。また、狭帯域になるほど手法間の差異が小さくなってしまいうことも確認でき、狭帯域な環境においても効果のある制御手法を提案することが課題である。

図 5 に帯域制限が 20Mbps の場合の、各視野移動シミュレーションデータのプロット結果を示

す (図 4 はこの平均値). 横軸がデータ量, 縦軸が視野領域 PSNR となっているため, 左上の領域ほど「高品質かつ低通信量」と言える. また図 5 には, 参考のために RD 曲線の近似カーブを引いている. RD 曲線の横軸は通常は圧縮レートであるが, 再生時間をかけることでデータ量に変換した. この RD 曲線はタイル分割をせずに全体映像に対して処理を行ったものとなっている. 手法ごとの結果は, 多少のばらつきはあるが, サンプルに関係なく, 各手法同士のプロットは近い位置となることが確認できた. 手法 C~E のプロットは RD 曲線の左上にあることから, 単調な配信方法である手法 A, B よりも優れていると考えられる. また手法 A は, 図 4 から品質面では優れているように見えるが, RD 曲線の右上になってしまうことから, データ量の観点からすると他の手法に劣ってしまう. 手法 A と比べ, 他の手法は, 総配信データ量を半分以上削減できていることが分かる.



(a) 総配信データ量の結果



(b) Viewport PSNR の結果

図 4. 帯域制限下の配信シミュレーションの結果

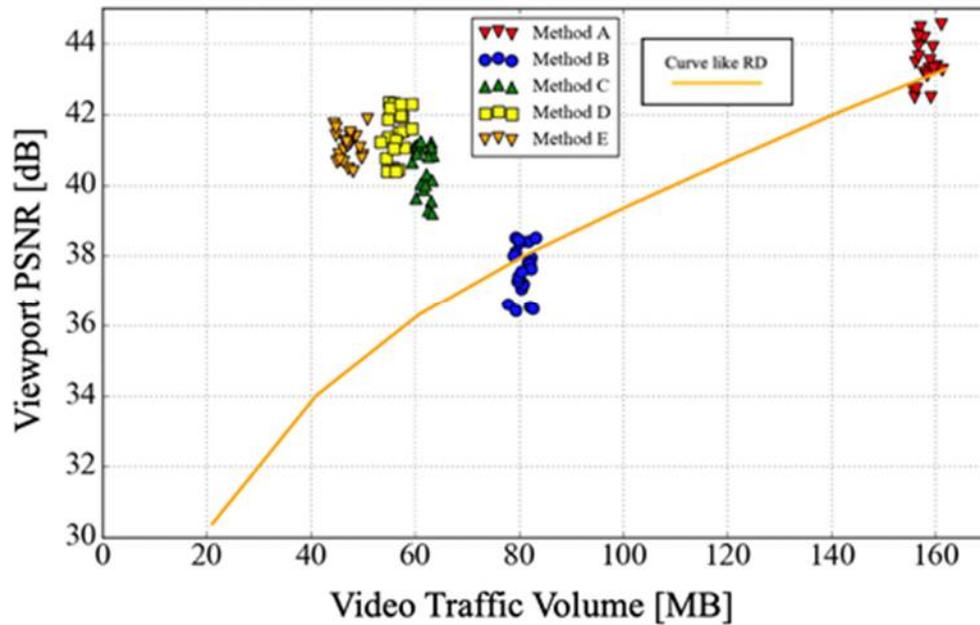


図 5. 配信シミュレーションのプロット結果

#### 2.2.4. まとめ

本稿では、効率的な 360 度映像配信を目指し、360 度映像視聴時の視野予測精度評価、および予測を用いたタイルベース 360 度映像配信シミュレーションにおける適応レート制御手法の性能評価を行った。視野予測においては、収集した 360 度映像の視聴履歴のデータを Support Vector Machine により学習させることで、85%程度の予測精度を達成した。また、配信シミュレーションにおいては、5 つの適応レート制御手法を提案し、その性能を比較評価した。視野予測を利用することで、「高品質かつ低通信量」な配信を実現することが確認できた。今後は、より高い予測精度の達成、リアルタイム 360 度映像配信システムの構築を目指す。

#### 2.2.5. 参考文献

- [1] “Worldwide Semiannual Augmented and Virtual Reality Spending Guide”, [online]: <http://www.idc.com/tracker/showtrackerhome.jsp>
- [2] X. Corbillon, et al., “Viewport-adaptive navigable 360-degree video delivery,” IEEE ICC, May 2017.
- [3] I. Sodagar, “The MPEG-DASH Standard for multimedia streaming over the Internet,” IEEE Multimedia, pp.62-67, Apr. 2011.

### 3. 共同研究者

佐藤 拓朗 (早稲田大学・教授)  
亀山 渉 (早稲田大学・教授)  
金井 謙治 (早稲田大学・次席研究員)  
孫 鶴鳴 (早稲田大学・次席研究員)  
山崎 恭 (北九州市立大学・准教授)  
市野 将嗣 (電気通信大学・助教)

### 4. 研究業績

論文誌：

- [1] Reham Abobeah, Amin Shoukry and Jiro Katto: "Video Alignment Using Bi-Directional Attention Flow in a Multi-Stage Learning Model," IEEE Access, Vol.8, pp. 18097-18109, Jan.2020.
- [2] Kenji Kanai, Bo Wei, Zhengxue Cheng, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: "Methods for Adaptive Video Streaming and Picture Quality Assessment to Improve QoS/QoE Performances," IEICE Trans. on Comm., Vol.E102-B, No.7, July 2019 (invited).
- [3] Masaru Takeuchi, Yusuke Sakamoto, Ryota Yokoyama, Heming Sun, Yasutaka Matsuo and Jiro Katto: "Gamut-Extension Methods Considering Color Information Restoration," IEEE Access, Vol.7, pp.80146-80158, June 2019.
- [4] Bo Wei, Hang Song, Shangguang Wang, Kenji Kanai and Jiro Katto: "Evaluation of Throughput Prediction for Adaptive Bitrate Control Using Trace-Based Emulation," IEEE Access, Vol.7, pp.51346-51356, Apr.2019.
- [5] Wataru Kawakami, Bo Wei, Kenji Kanai and Jiro Katto: "A highly accurate transportation mode recognition using mobile communication quality," IEICE Trans. on Comm. Vol.E102-B, No.4, pp.741-750, Apr. 2019.

国際学会：

- [1] Mayuko Okano, Yohei Hasegawa, Kenji Kanai, Bo Wei and Jiro Katto: "Field Experiments of 28 GHz Band 5G System at Indoor Train Station Platform," IEEE CCNC 2020, Jan.2020.
- [2] Kengo Ichihara, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: "Accuracy Evaluations of Video Anomaly Detection Using Human Pose Estimation," IEEE ICCE 2020, Jan.2020.
- [3] Ryota Yokoyama, Masahiro Tahara, Masaru Takeuchi, Heming Sun, Yasutaka Matsuo and Jiro Katto: "CNN Based Optimal Intra Prediction Mode Estimation in Video Coding," IEEE ICCE 2020, Jan.2020.
- [4] Yuya Shinohara, Kenji Kanai and Jiro Katto: "Performance Evaluations of Viewport Movement Prediction and Rate Adaptation for tile-based 360-degree Video Delivery," IEEE ISM 2019, Dec.2019.
- [5] Junan Chen, Heming Sun, Jiro Katto, Xiaoyang Zeng and Yibo Fan: "Fast Variance- and Gradient-based QTMT Partition Decision Algorithm in VVC Intra Coding," IEEE VCIP 2019, Dec 2019.

- [6] Chao Liu, Heming Sun, Junan Chen, Zhengxue Cheng, Masaru Takeuchi, Jiro Katto, Xiaoyang Zeng and Yibo Fan: “Dual Learning-based Video Coding with Inception Dense Blocks,” PCS 2019, Nov.2019.
- [7] Jiro Katto, Masaru Takeuchi, Kenji Kanai and Heming Sun: “Road Infrastructure Monitoring System using E-Bikes and Its Extensions for Smart Community,” SMAS 2019, ACM Mobicom Workshop, Oct. 2019.
- [8] Suphakit Awiphan, Kanin Poobai and Jiro Katto: “Proxy-Assisted Rate Adaptation for 4K Video Streaming on Named Data Networking,” IEEE GCCE 2019, Oct.2019.
- [9] Yixuan Zeng, Heming Sun, Jiro Katto, Xiaoyang Zeng and Yibo Fan: “A Minimal Adder-oriented 1D DST-VII/DCT-VIII Hardware Implementation for VVC Standard,” IEEE SOCC 2019, Sep.2019.
- [10] Zhengxue Cheng, Pinar Akyazi, Heming Sun, Jiro Katto and Touradj Ebrahimi: “Perceptual Quality Study on Deep Learning based Image Compression,” IEEE ICIP 2019, Sep.2019.
- [11] Masaru Takeuchi, Yusuke Sakamoto, Ryota Yokoyama, Heming Sun, Yasutaka Matsuo and Jiro Katto: “A Gamut Extension Method considering Color Information Restoration using Convolutional Neural Networks,” IEEE ICIP 2019, Sep.2019.
- [12] Hidehiro Kanemitsu, Kenji Kanai, Jiro Katto and Hidenori Nakazato: “A Function Clustering Algorithm for Resource Utilization in Service Function Chaining,” IEEE CLOUD 2019, July 2019.
- [13] Zhengxue Cheng, Heming Sun, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: “Learning Image and Video Compression through Spatial-Temporal Energy Compaction,” IEEE CVPR 2019, Jun.2019.
- [14] Zhengxue Cheng, Heming Sun, Masaru Takeuchi and Jiro Katto: “Deep Residual Learning for Image Compression,” CLIC 2019, IEEE CVPR Workshop, Jun.2019.
- [15] Keigo Ogawa, Hibiki Sekine, Kenji Kanai, Kenichi Nakamura, Hidehiro Kanemitsu, Jiro Katto and Hidenori Nakazato: “Performance Evaluations of IoT Device Virtualization for Efficient Resource Utilization,” 2019 Global IoT Summit, Jun.2019.
- [16] Yuya Shinohara, Satomi Shirasaki, Yiyang Wu, Kenji Kanai and Jiro Katto: “Performance Evaluations of Tile-based 360-degree DASH Streaming with Clustering-based Viewport Prediction,” IEEE 2019 ICCE-TW, May.2019.
- [17] Mayuko Okano, Kenji Kanai and Jiro Katto: “Performance Evaluations of IEEE 802.11ad and Human Pose Detection towards Intelligent Video Surveillance System,” IEEE 2019 ICCE-TW, May.2019.
- [18] Mayuko Okano, Yohei Hasegawa, Kenji Kanai, Bo Wei and Jiro Katto: “TCP throughput characteristics over 5G millimeter-wave network in an indoor train station,” IEEE WCNC 2019, Apr.2019.

国内講演 :

- [1] 清水盛偉・程正雪・孫鶴鳴・竹内健・金井謙治・甲藤二郎: “深層学習によるフレーム補間の動画圧縮への適用,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
- [2] 和田直己・竹内 健・金井謙治・甲藤二郎: “深層学習による道路損傷検出手法の一提案とそ

- の精度評価,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
- [3] Zhengxue Cheng · Pinar Akyazi · Heming Sun · Jiro Katto · Touradj Ebrahimi: “Perceptual Quality Study on Deep Learning based Image Compression,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [4] Rige Su · Zhengxue Cheng · Heming Sun · Jiro Katto: “Scalable Learned Image Compression Based on Recurrent Neural Networks,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [5] Heming Sun · Zhengxue Cheng · Masaru Takeuchi · Jiro Katto: “Convolutional Neural Network based Image Compression with Quantized Weights,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [6] 丸山大貴 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “RGB-D カメラを用いた通路幅推定手法の精度評価,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [7] 山本健人 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “電動アシスト自転車に搭載した 2DLiDAR による段差推定手法の検討,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [8] 村山知輝 · 一原賢吾 · 金井謙治 · 竹内 健 · 甲藤二郎: “歩行者交通量推定に向けた歩行者流動の可視化,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [9] 梶野華代 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “MR デバイス上での AR アプリケーション体験時の QoE 特性評価,” 電子情報通信学会総合大会、Mar.2020.
  - [10] 河上晃司 · 魏 博 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “強化学習を用いた QoE ドリブンの適応型ビデオストリーミングの性能改善,” 信学会 NS 研究会, Mar.2020
  - [11] 和田直己 · 竹内 健 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “深層学習による道路損傷検出の精度改善手法の一提案,” 信学会 IE 研究会, Mar.2020.
  - [12] 関根響 · 金井謙治 · 金光永煥 · 甲藤二郎 · 中里秀則: “エッジ・クラウド連携のための IoT サービスファンクションチェイニングの性能評価,” 信学会 SeMI 研究会, Mar.2020.
  - [13] 山本健人 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “電動アシスト自転車に搭載した 2DLiDAR による段差推定手法の検討,” 信学会 SeMI 研究会, Mar.2020.
  - [14] 丸山大貴 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “RGB-D カメラを用いた通路幅推定手法の精度評価,” 信学会 SeMI 研究会, Mar.2020.
  - [15] 横山怜汰 · 田原雅彦 · 孫鶴鳴 · 竹内健 · 松尾康孝 · 甲藤二郎: “CNN による最適 Intra 予測モード推定を用いた動画像符号化,” 信学会 IE 研究会, Feb.2020.
  - [16] 前林伸治 · 岡野真由子 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “有無線ネットワーク環境下における超高速 TCP の性能評価,” 信学会 NS 研究会, Jan.2020.
  - [17] 岡野真由子 · 長谷川洋平 · 金井謙治 · 魏博 · 甲藤二郎: “屋内駅におけるシミュレーション及び実機測定による第五世代移動通信 28GHz 帯通信スループット特性評価,” 信学会 CS 研究会, Dec.2019.
  - [18] 関根響 · 金井謙治 · 金光永煥 · 甲藤二郎 · 中里秀則: “アプリケーション要件を考慮したサービスファンクション最適割り当て手法の性能評価,” 信学会 CS 研究会, Dec.2019.
  - [19] 篠原裕矢 · 金井謙治 · 甲藤二郎: “視野移動予測に基づく 360 度映像配信のレート制御手法の品質評価,” 信学会 RISING 研究会, Nov.2019.
  - [20] 川上 航 · 金井謙治 · 魏 博 · 甲藤二郎: “通信品質を活用した人の移動状態認識手法の性能評価,” 信学会 RISING 研究会, Nov.2019.
  - [21] Rige Su, Zhengxue Cheng, Jiro Katto: “Optimized Image Compression Based on Recurrent

Neural Network,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.

- [22] 横山怜汰, 田原雅彦, 孫鶴鳴, 竹内健, 松尾康孝, 甲藤二郎: “CNN を用いた動画像符号化における最適 Intra 予測モードの推定,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.
- [23] 竹内健, 横山怜汰, 孫鶴鳴, 松尾康孝, 甲藤二郎: “畳み込みニューラルネットワークを用いた色彩情報復元を考慮した色域拡張手法,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.
- [24] 村山知輝, 金井謙治, 竹内健, 甲藤二郎: “360 度映像を利用した道路上の人物密度分布の評価,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.
- [25] 田原雅彦, 横山怜汰, 孫鶴鳴, 松尾康孝, 甲藤二郎: “VVC における参照画素補間フィルタに関する検討,” PCSJ/IMPS 2019, Nov.2019.
- [26] 金井謙治・甲藤二郎: “QoS/QoE/QoL 向上に向けたアプリケーション層からの取り組み,” 信学会 SeMI 研究会、Nov.2019 (依頼講演).
- [27] 白崎智美・金井謙治・甲藤二郎: “ウェアラブル生体センサを用いた人の行動状態推定と疲労度計測,” 信学会 SeMI 研究会、Nov.2019.
- [28] 村山知輝・金井謙治・竹内健・甲藤二郎: “歩道の混雑度推定に向けた 360 度映像を利用した人物検出手法の性能評価,” 信学会 SeMI 研究会、Nov.2019.
- [29] 山本健人・金井謙治・甲藤二郎: “電動自転車に搭載した 2DLiDAR を活用した段差検知の精度評価,” 信学会 SeMI 研究会、Nov.2019.
- [30] 金井謙治・山本健人・丸山大貴・村山知輝・関根 響・白崎智美・前林伸治・甲藤二郎: “モバイルエッジクラウド基盤のためのスマート自転車の研究開発,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [31] Bo Wei, Hang Song, Kenji Kanai and Jiro Katto: “Evaluation of Throughput Prediction Using Recurrent Neural Network,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [32] 一原賢吾・竹内 健・甲藤二郎: “姿勢推定を活用した人物姿勢に基づく異常行動検知システムの精度評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [33] 岡野真由子・長谷川洋平・金井謙治・甲藤二郎: “屋内駅プラットフォームにおける 28GHz 帯を利用した第五世代移動通信のスループット特性評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [34] 篠原裕矢・金井謙治・甲藤二郎: “タイルベース 360 度映像配信時の適応レート制御手法の性能評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [35] 白崎智美・金井謙治・甲藤二郎: “ウェアラブル生体センサによる日常行動時の評価実験,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [36] 関根 響・金井謙治・甲藤二郎: “異なる IoT 資源環境下におけるマイクロサービスの遅延特性評価,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会、Sep.2019.
- [37] 金井謙治・山本健人・村山知輝・和田直己・竹内健・甲藤二郎: “道路インフラ維持のための電動自転車を活用したモバイルセンシングシステムの開発,” 信学会 CS 研究会, Sep.2019.
- [38] 金光永煥・金井謙治・甲藤二郎・中里秀則: “ファンクション集約によるサービスファンクションのスケジューリング,” 信学会 CS 研究会, Sep.2019 (依頼講演).
- [39] 金井謙治・甲藤二郎: “モバイルネットワークにおける QoS 向上のためのアプリケーションレイヤーからの取り組み,” 信学会 RCS 研究会, May.2019 (依頼講演).
- [40] 川上 航・金井謙治・甲藤二郎: “転移学習を用いた映像視聴時の通信品質に基づく ユーザ移動状態推定手法の精度評価,” 信学会 CS 研究会, Apr.2019.

## 5. 研究活動の課題と展望

現在進めている研究開発課題として以下が挙げられる。

- 第一に、自転車を移動する IoT デバイスとして活用し、路面調査や混雑度検知等の社会インフラ観測システムのプロトタイプ作成を進めている。プラットフォームとして市販の電動アシスト自転車を購入し、スマートフォン、および、専用演算器を装着したスマート自転車の試作と観測実験を進めている。
- 第二に、カメラを IoT デバイスとして活用し、深層学習を活用した画像圧縮と映像配信に関する研究開発を進めている。具体的には、従来方式を凌ぐ圧縮性能が報告されている深層学習による画像圧縮の数学的基盤の検討や、深層学習による動画像圧縮への拡張の検討を進めている。