

## 携帯ライフログを用いた行動支援システムに関する研究

研究代表者 甲藤 二郎  
(基幹理工学部 情報理工学科 教授)

### 1. 研究課題

近年、携帯電話（スマートフォンを含む）は端末の普及や高度化に伴い、単なる情報発信・情報収集に加えて生活や行動を支援する高機能ツールとして発展してきた。最近では、利用者のネット内外の活動記録であるライフログを活用し、利用者の属性情報に応じたコンテンツや広告を提供するサービスの進展に期待が集まっている。そこで本研究では、携帯電話から取得したセンサ情報（位置、加速度、地磁気など）から人の移動にかかわる情報（移動履歴、移動手段等）や、本人確認情報（歩き方等）を把握し、複合的に分析することで新しいサービスの提供を目指している。

これまでは、携帯端末から取得したセンサ情報（位置、加速度、地磁気など）から特徴量を抽出し、パターン識別処理を行うことで、ユーザの移動経路、滞留点、移動手段、歩行状態（平地を歩いている、階段を上っている等）を把握することを試みた。また、その後は、携帯端末から取得したセンサ情報を活用して、通信品質の良好な移動経路を提供するナビゲーションシステムや、移動経路に沿って省電力特性の優れたコンテンツ配信を実現するシステムの開発を試みている。

本報告では、特に後者の話題を取り上げ、携帯端末を用いた通信品質情報の取得とそれを活用したコンテンツ配信技術の開発、ならびに、各種の無線通信手段を用いた場合の高精細コンテンツ配信の特性評価、に関する研究成果を紹介する。

## 2. 主な研究成果

### 2.2. 無線ネットワークの通信品質の可視化

#### 2.2.1. 目的

近年、スマートフォンやタブレット端末などで利用できる無線規格は多様化してきている。さまざまな無線規格がある中で、バッテリーの持ちに不満がある多くのユーザは通信速度や消費電力を気にかけながら端末を利用しなければならない。したがって、本稿では消費電力モデルを作成し、ユーザの位置情報や基地局の位置情報、RSSI、スループット、CPU 使用率、消費電力を計測することによって無線通信のネットワーク品質の可視化を行う。さらに、それをもとに MPEG-DASH によって 4K 映像配信時の QoS、QoE 評価を行う。

#### 2.2.2. MPEG-DASH

MPEG-DASH は適応レート制御方式であり、マルチメディアコンテンツを複数ビットレートで圧縮・保存しておくことで、ネットワークの状態に応じて映像の品質を変化させることができる。MPEG-DASH ではコンテンツをレプリゼンテーションと呼ばれる階層構造で定義している。1つの映像は、k 秒（典型値は 2〜3 秒）ごとに分割された複数のセグメントで構成されている。各セグメントは、複数のビットレートが定義され、階層的に圧縮されている。クライアント側では、セッション開始前に Media Presentation Description(MPD)と呼ばれるセグメント情報の階層構造を定義した XML ファイルを読み込むことで、ネットワーク品質の変動に適応して適切なビットレートのコンテンツを選択することができる。

#### 2.2.3. 予備実験

本実験では、ネットワーク品質の可視化に向けて消費電力予測モデルの作成を行った。今回作成する予測モデルは、スループットと消費電力の関係、CPU 使用率と消費電力の関係である。消費電力の測定機器には Monsoon Power Monitor を使用する。計測消費電力は、計測時間に対する平均値[mW]である。今回は、この計測値を、通信に関する消費電力の場合は 1bit 受信するためにかかる消費電力量[mJ/bit]、それ以外の場合は[mJ]に変換する。

##### 2.2.3.1. スループットと消費電力の関係

この実験では、研究室内の Ubuntu サーバから、LTE や Wi-Fi を用いて、スマートフォン GalaxyS4 を用いて動画 1 セグメントをダウンロードする。そのダウンロードにかかった時間を計測し、スループットを算出し、その時の消費電力を計測する。その結果に基づくスループットと消費電力の関係の近似式を以下に示す。

LTE の場合：

$$y = 2.42 \times 10^{-6} + 1008.3 \times 10^{-6} x \quad (1)$$

(最大誤差：  $233 \times 10^{-6}$  [mJ/bit]、平均誤差：  $59.7 \times 10^{-6}$  [mJ/bit])

2.4GHz 帯 Wi-Fi の場合：

$$y = 1.61 \times 10^{-6} x + 584.4 \times 10^{-6} \quad (2)$$

(最大誤差：  $260 \times 10^{-6}$  [mJ/bit]、平均誤差：  $68.9 \times 10^{-6}$  [mJ/bit])

5GHz 帯 WiFi の場合 :

$$y=1.14 \times 10^{-6}x+629.1 \times 10^{-6} \quad (3)$$

(最大誤差 :  $251 \times 10^{-6}$  [mJ/bit]、平均誤差 :  $63.3 \times 10^{-6}$  [mJ/bit])

ここで  $x$  はスループット [Mbps] の値、 $y$  は消費電力 [mJ/bit] の値を示している。また、式(1)は LTE、式(2)は 2.4GHz 帯の Wi-Fi、式(3)は 5GHz 帯の Wi-Fi を使用したときの式である。上記の計測消費電力は、通信以外の機能にかかる消費電力を減算して算出している。この結果から、LTE は Wi-Fi に比べて比例定数と切片が大きくなり、消費電力が大きくなることがわかる。LTE は、Wi-Fi より端末と基地局、AP 間の制御が多いことから消費電力が多くなっていることが予測できる。

### 2.1.3.2. CPU 使用率と消費電力の関係

この実験では、GalaxyS4 内で様々なアプリケーションを使用し、そのアプリケーション使用時の CPU 使用率と消費電力を計測する。その結果を以下に式に示す。

$$y=14.02x+1107.7 \quad (4)$$

(最大誤差 830.7[mJ]、誤差平均 : 422.1[mJ])

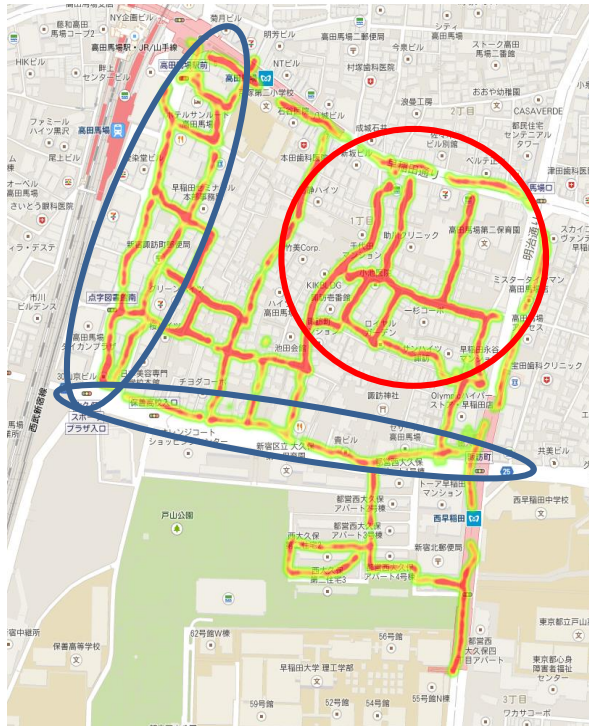
ここで  $x$  は CPU 使用率 [%] の値、 $y$  は消費電力 [mJ] の値を示している。上記の式の消費電力は CPU 使用率を計測しているアプリケーション以外にかかる消費電力を減算して算出している。この結果から、式(1)、(2)、(3) に比べて最大誤差と誤差平均が大きくなっていることがわかる。これは、計測に使用しているスマートフォンで、CPU 使用率を計測するアプリケーションの裏で他の処理が行われており、その分の消費電力を減算できていなかったことが原因として考えられる。

### 2.1.4. 評価実験

#### 2.1.4.1. 実験 1 ～スマートフォン端末によるクラウドコンピューティング活用～

実験 1 では、GalaxyS4 を用いて、徒歩での移動を行いながら、スループット [Mbps]、受信電波強度 (RSSI) [dBm]、ユーザの位置情報、基地局の位置情報、CPU 使用率 [%] を計測し、ネットワーク品質を Google マップ上に可視化する。早稲田大学理工キャンパスのタリーズ前を出発地点として、なるべく遠回りをしないことを前提に、目的地である高田馬場ロータリーまで向かう経路上の通信品質の可視化を行った。その結果を図 1 に示す。

図 1(a)の実験結果では、赤丸はスループットの高い地点を、青丸はスループットの低い地点を示している。この結果から、住宅が密集する地帯のスループットが高く、大通りに面する地帯で、かつ昼間の人が密集する地点のスループットが低い傾向が見られる。また、この実験では基地局の位置情報の取得も行っている。この取得した基地局の位置情報から、住宅が密集する地帯に多くの基地局が建てられていることがわかる。このようなことから、1 つの基地局あたりに接続しているユーザ数が少なくなる赤丸の地点のスループットが高くなるということがわかる。



(a) スループット



(b) 消費電力

図1: スループットマップ(左)と消費電力マップ(右)

さらに、図 1(b)の実験結果では、赤丸は消費電力の高い地点を、青丸は消費電力の低い地点を示している。しかし、視覚的に品質の差がわかるような実験結果は得られなかった。この可視化の重みづけ係数に用いている CPU 使用率は、あまり通信品質によって大きく異ならず、そのほかのディスプレイ表示やデータの書き込みなどの処理によって大きく変化するという予測のもと、LTE のスループットに対する CPU 使用率を測定した。その結果を以下の式に示す。

$$y = 15.241\ln(x) + 33.638 \quad (5)$$

(最大誤差 29.3[%]、誤差平均 14.6[%])

この近似式から、スループットが極端に小さい値をとるとき以外は、あまり CPU 使用率の値は変化しないということがわかり、視覚的に品質の差がわかるような実験結果は得られなかったのではないかと予測する。

#### 2.1.4.2. 実験 2 ～4K 映像を用いた DASH 配信評価～

この実験では、図 1 を用いて経路を視覚的に選択し、その経路を徒歩で移動しながらの DASH 配信評価を行う。DASH-JS で構築された Ubuntu サーバから、MPEG-DASH を用いてコンテンツを GalaxyS4 に携帯電話事業者の LTE 通して配信する。その時のレプリゼンテーションの選択レート [Mbps]とスループット [Mbps]を計測し、その平均値を比較することでネットワーク品質可視化マップの有効性を評価する。まず、図 1 の左図を用いて最も通信品質が良いと予測される経路 1 と最も通信品質が悪いと予測される経路 2 を視覚的に選択し、以下の図 2 に示す。

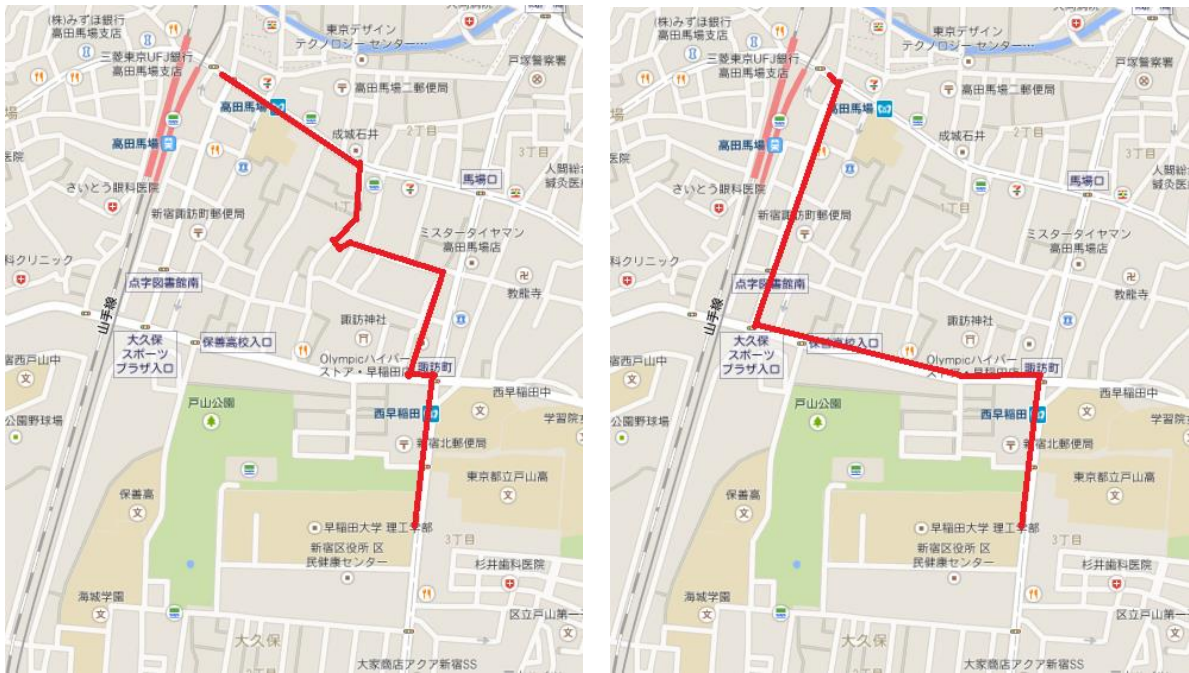


図 2:: 最良品質が予測される経路 1(左)と最悪品質が予測される経路 2(右)

上記の経路を移動することで計測した通信品質の比較実験結果を図 3 に示す。スループットマップから予測される通信品質の良好な経路を選択することで、通信速度が速く、高画質なビットレートの動画が配信されることがわかり、ネットワーク品質可視化の有効性が示せた。

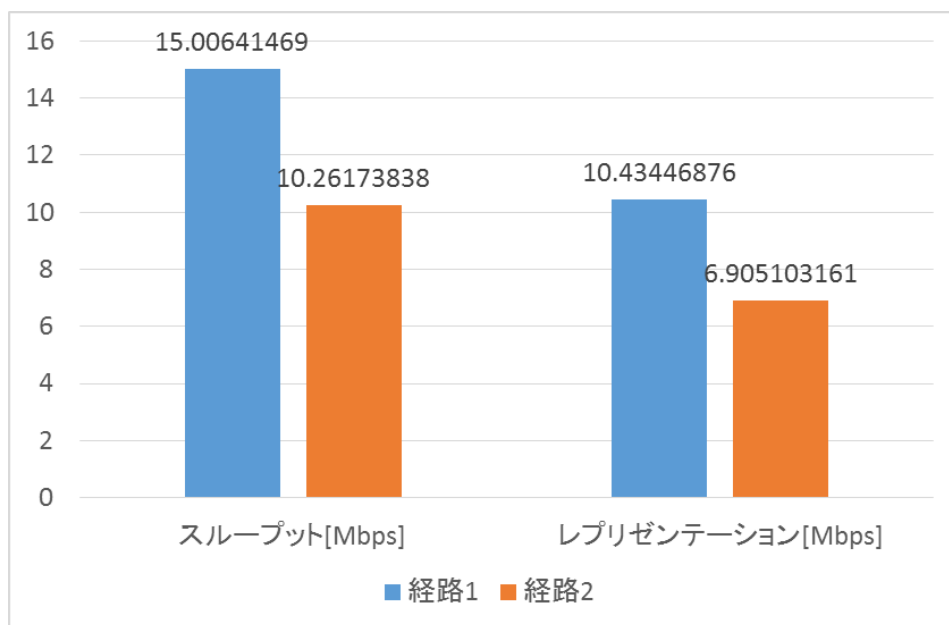


図 3: 経路 1 と経路 2 の通信品質の比較

#### 2.1.5. まとめ

本研究では、通信速度と消費電力の観点からネットワーク品質の可視化を行った。まず、Monsoon

Power Monitor を用いて消費電力モデルを作成した。このモデルから作成したネットワーク品質可視化マップを用いて経路を選択し、4K 映像の DASH 配信実験を行った結果、スループットマップから予測される通信品質の良い経路を選択することで、通信速度が速く、高画質なビットレートの動画配信を実現できた。今後は消費電力マップの評価実験を進める予定である。

## 2.2. 無線ネットワークにおける 4K/2K 映像の DASH 配信評価

### 2.2.1. 目的

近年、無線ネットワークの広帯域化に伴い高品質な映像配信の需要が増加している。またその視聴形態は多様化し、移動環境やアクセスユーザ数が多い環境においても高品質な映像配信の提供が求められる。本研究では MPEG-DASH を用いて、LTE、2.4GHz 帯 WiFi、5GHz 帯 WiFi のそれぞれで映像配信を行った際の品質特性の評価を行った。

### 2.2.2. 実験環境と評価項目

DASH 配信を行うため、研究室内に DASH-JS を用いた配信サーバを構築した。配信映像の解像度は 4K と 2K の 2 つを用意し、いずれも H.264/AVC で圧縮した。圧縮レートを示すレプリゼンテーションは 4K は 3~50[Mbps] の範囲で、2K は 1~5[Mbps] の範囲で行った。評価項目は、受信端末のバッファサイズ[sec]、スループット[Mbps]、レプリゼンテーション[Mbps]、RSSI[dBm]、PSNR[dB] の 5 つとした。

### 2.2.3. 移動環境における DASH 配信評価（少ユーザ数の場合）

移動無線環境における 4K 映像の配信実験として、副都心線の西早稲田駅～池袋駅間においてサーバへの同時アクセスユーザ数を変化させながら、LTE を用いた配信実験を行った。そのときのスループットとレプリゼンテーションの平均値を表 1 に示す。

表 1: 地下鉄乗車時の平均受信品質

| ユーザ数<br>[台] | Throughput<br>[Mbps] | Representation<br>[Mbps] |
|-------------|----------------------|--------------------------|
| 1           | 18.4                 | 11.3                     |
| 2           | 9.8                  | 6.4                      |

表 1 より、ユーザ数の増加に伴い、通信品質は低下することがわかる。静止している場合に比べて移動している場合は、RSSI 変動に伴い品質変動が激しく、平均品質は低下し再生中断が発生することもある。ここに、1 ユーザの場合の配信品質の時間遷移を図 4 に示す。この図を見ると、現在の東京の地下鉄では移動中も LTE 接続が可能になっており、区間によって変動はあるものの、比較的安定した通信品質が提供されていることがわかる。また、ライブ配信とは異なり、事前の圧縮が完了している VoD (Video on Demand) 型の配信の特徴として、周期的にコンテンツをまとめて送信しては（プリフェッチを行っては）休止する ON-OFF 配信制御（後述）の様子が受信バッファ量の挙動として読み取れる。

結果は省略するが、ユーザ数増加に伴う品質低下は、WiFi を用いた場合も同様であり、周辺 AP からの干渉を大きく受ける 2.4GHz 帯よりも、チャンネルに余裕がある 5GHz 帯を用いた方が品質は高く、移動時の最高スループットは LTE を用いた場合よりも高い。しかし、池袋駅(丸ノ内線ホーム～副都心線

ホーム間)を徒歩で移動した際、平均スループットは 31.4[Mbps]であったが、AP あたりのカバレッジが狭いために頻繁に RSSI が低下し、それに伴い 3 回に渡ってハンドオーバーを行い、そのタイミングで品質が低下し、再生の中断が発生することも確認した。

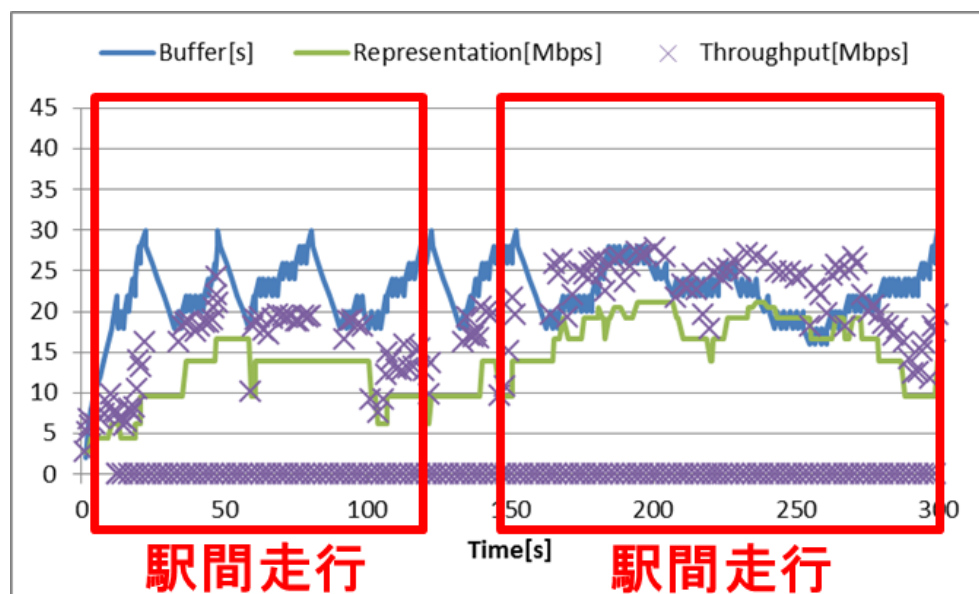


図 4: 地下鉄乗車時の通信品質の時間遷移(1 ユーザの場合)

#### 2.2.4. 移動環境における DASH 配信評価 (多ユーザ数の場合)

DASH-JS では Long On-OFF Cycles と呼ばれるバッファリング手法を採用している。これは、通信フェーズ (セグメントの取得と映像再生を同時に行う) と非通信フェーズ (映像再生のみ) を周期的に繰り返す動作を示し、受信側の最大・最小バッファサイズで規定される。デフォルトの DASH-JS では、最大バッファサイズは 30[sec]、最小バッファサイズは 20[sec]と設定されている。本節では、最大サイズを 30、40、50[sec]と変化させ、その際の品質特性を評価した。図 5 と図 6 に実験結果を示す。

図 5 を見ると、2.4GHz 帯の WiFi を用いた 4K 映像配信では、レプリゼンテーションがスループットを上回ってしまうため、途中で再生が中断していることがわかる。また、最大バッファサイズの増加に伴いスループットが減少しているが、これは、長期間に渡って複数ユーザ間の競合が発生したことによる品質低下であると考えられる。ユーザ間の競合は、ストリーミング配信の ON-OFF 制御の ON 期間 (セグメント取得期間) の長さに関係し、最大バッファサイズの増加に伴い、ON 期間も増加するため競合の発生頻度も増大する。

一方、2.4GHz 帯の WiFi を用いた 2K 映像配信では、最大バッファサイズが 40[sec]、50[sec]、30[sec]の順にスループットが高くなっていることがわかる。これは、2K 映像の場合は帯域に余裕があり、最適な配信レート of 動画を取得できているため、動画セグメントの取得時間が長引くことは無く、ある程度まで最大バッファサイズを大きくすることで非通信フェーズの期間が長くなり、ユーザ間の競合が発生しにくくなるためだと考えられる。しかし、最大バッファサイズを大きくし過ぎると、バッファを満たすのに時間がかかるようになり、複数ユーザ間の競合時間が長くなってしまい、スループットの低下が発生すると思われる。この現象は、図 6 の 5GHz 帯 WiFi を用いた 4K 配信においても見て取ることができる。

最後に、図 6 における 5GHz 帯 WiFi を用いた 2K 映像配信では、最大バッファサイズを大きくとるにつれてスループットが単調増加することがわかる。これは、可用帯域に対して配信レートが小さいため、バッファを満たすのに要する時間が短く、実験した範囲内において、最大バッファサイズを上げても ON 期間の増加が十分に小さく抑えられたためである。それに伴い、バッファの最大サイズ到達後の OFF 期間（非通信フェーズ時間）が長くなることで、ユーザ間の競合をより避けやすくなると考えられる。

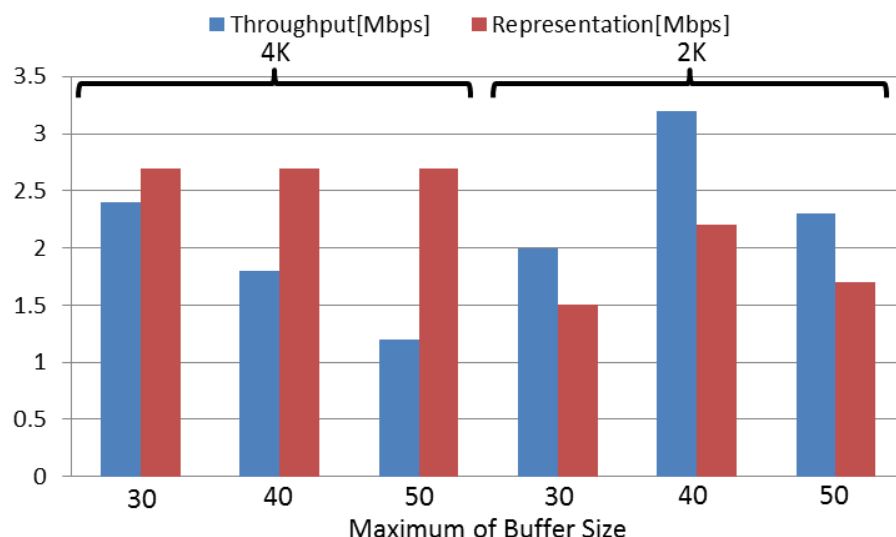


図 5: 2.4GHz 帯 WiFi を用いた場合の配信特性

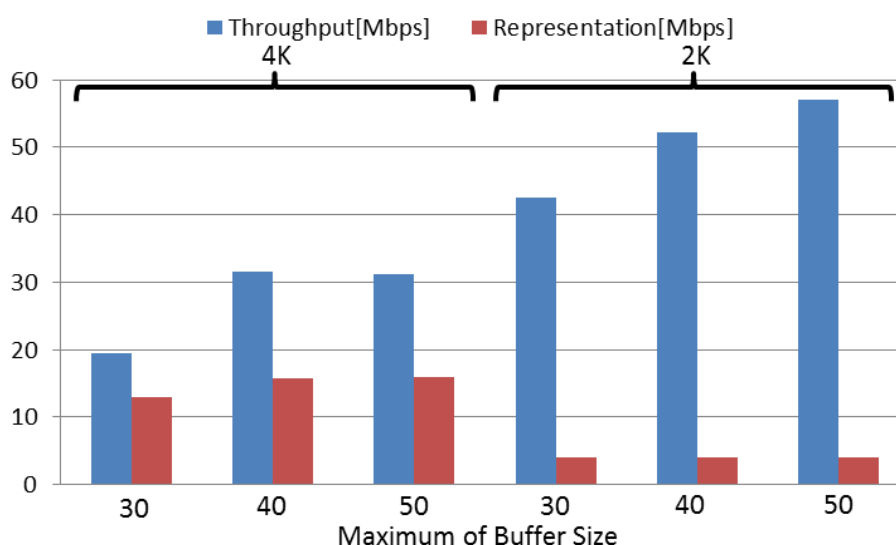


図 6: 5GHz 帯 WiFi を用いた場合の配信特性

## 2.2.5 まとめ

本稿では、無線通信環境における MPEG-DASH を用いた映像配信特性を評価した。今回は実験的な観測を行ったが、今後は ON-OFF 制御とバッファリングに関する解析モデルの構築や、他人数環境における映像配信品質の改善方法の提案を検討している。

### 3. 共同研究者

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

- [1] 竹中幸子他：“4K映像を用いた無線ネットワーク上での DASH 配信評価”、電子情報通信学会ネットワークシステム研究会、Nov.2011.
- [2] 原田臨太郎他：“4K/2K映像を用いたマルチユーザ DASH 配信評価”，電子情報通信学会総合大会、Mar.2015.
- [3] 市野将嗣他：“交通機関を利用したコンテンツ配信システムのための電車による移動状態の識別に関する検討”、電子情報通信学会総合大会、Mar.2015.

### 5. 研究活動の課題と展望

今後検討すべき課題を以下に示す。

- 携帯端末による通信品質収集と省電力コンテンツ配信  
今回の報告では、消費電力マップの作成までは行ったが、スループットと同様の消費電力予測に基づくコンテンツ配信は未着手であり、2015 年度中の完了を目指す。また、今回の報告は小規模なものであり、観測者、端末数、観測場所などを拡大した通信品質収集を行う。
- 人間の行動識別に基づくインタラクティブなコンテンツ配信  
昨年度からの継続課題として、各種のセンサ情報や画像音響処理を組合せ、よりインタラクティブなコンテンツ配信を行う手段の開発を進める。