

OpenFlow 制御メッセージを用いた QoE 推定手法の提案と評価

—無線メッシュネットワーク上の動画通信に対する有効性評価—

下川 駿平[†] 金岡 拓哉[†] 妙中 雄三^{††} 塚本 和也[†]

[†]九州工業大学 情報工学部 電子情報工学科/大学院 情報工学府・情報工学研究院

〒820-8502 福岡県飯塚市川津 680-4

^{††}奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科

〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: [†]jp232046s@mail.kyutech.jp, ^{††}kanaoka@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{†††}yuzo@is.naist.jp,
^{††††}tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

あらまし 先行研究では、無線メッシュネットワーク (WMN) において SDN(OpenFlow) 制御による複数チャネルを有効利用手法を提案し、ネットワーク資源の有効利用を実現した。しかし、複数のアプリケーションが共存する場合には、品質評価指標の差異によってアプリケーション毎の QoE が維持できない。そこで、アプリケーションの通信フローの転送途中で QoE を考慮したフロー制御の実現を目指す。しかし、QoE はエンド端末での主観的な品質指標であるため、本研究ではフローを転送しながら OpenFlow による計測に基づいて QoE 推定を行う。ネットワーク内部では収集できないパラメータがあるため、本研究では OpenFlow の制御メッセージから得られる情報を活用するだけでなく、それらの情報を用いて QoE 計算に必要なパラメータ推定も行うことでアプリケーションの QoE 推定を行う。本発表では、動画配信を対象とした QoE 推定手法とその有効性を示す。

キーワード QoE, 実験評価, OpenFlow, 無線メッシュネットワーク

A QoE estimation method by exploiting OpenFlow control messages

—Effectiveness against real-time streaming services over wireless mesh network—

Shunpei SHIMOKAWA[†], Takuya KANAOKA[†], Yuzo TAENAKA^{††}, and Kazuya TSUKAMOTO^{††}

[†] Department of Computer Science and Electronics, Kyushu Institute of Technology

680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, Japan

^{††} Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama-tyo, Ikoma-shi, Nara, 630-0192, Japan

E-mail: [†]jp232046s@mail.kyutech.jp, ^{††}kanaoka@infonet.cse.kyutech.ac.jp, ^{†††}yuzo@is.naist.jp,
^{††††}tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

Abstract The previous study proposed a channel utilization method SDN-enabled in multi-channel wireless mesh network(SD-WMN), which utilizes all of channel resources efficiently. However, when multiple applications are transferred on SD-WMN, their QoE can not be maintained because of differences in important factors for QoE depending on applications. Therefore, in order to handle application flow more efficiently based on QoE, this paper focus on QoE estimation for every flow being going through SD-WMN. In the QoE calculation, there are parameters that can not be collected with OpenFlow. In this study, we estimate QoE of application not only by a SDN-based measurement but also estimating parameters necessary for QoE calculation. Finally, we show the effectiveness of the proposed QoE estimation method with a video application.

Key words QoE, Experiment, OpenFlow, Wireless mesh network

表 1 ITU-T G.1071 の対象動画

	低解像度式	高解像度式
通信プロトコル	RTSP over RTP	MPEG2-TS over RTP
動画コーデック	H.264, MPEG-4	H.264
解像度	QCIF(176×114), HVGA(480×320)	SD(720×480), HD(1280×720, 1920×1080)
ビットレート (bps)	QCIF:32~1000 k, HVGA:192~6000 k	SD:0.5~9 M, HD:0.5~30 M
フレームレート	5~30 fps	25~60 fps

1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット等のモバイル端末が普及し、モバイルトラフィックが急増している。この膨大なトラフィックを転送する手段の一つに無線 LAN が広く活用されている。しかし、無線 LAN はアクセスポイント (AP:Access Point) 毎の電波到達範囲が狭く、設置場所も限られるため、広域な範囲での無線 LAN の構築が比較的容易な無線メッシュネットワーク (WMN:Wireless Mesh Network) の活用が注目されている。

従来の WMN ではチャンネルの重複利用を避けるために空間的に距離をおいて無線資源を配分し、経路制御で資源利用を管理していたため、空間と周波数の両方における無線資源の効果的な利用が困難であった。我々の研究グループでは先行研究において、複数チャンネルを 1 経路上で並列に利用し、SDN (OpenFlow) で通信制御を行うことを可能とする SD-WMN を提案した。また、その経路上で複数チャンネルから成るネットワーク資源を有効に利用し、損失を避けて可用帯域を最大化するチャンネル利用手法を提案した [1] [2] [3]。しかし、現在のインターネット上で利用されるアプリケーションは多様化が進み、損失や帯域で一律に評価できない品質 (QoE) が重視される様になった。また、WMN は空間的な広がりがあることから、経由する場所によって多様な無線品質を持つ。すなわち先行研究では、多様なアプリケーションが混在すると、アプリケーション要求の差異によって個々の QoE が維持できないことに加え、空間的な無線環境の差異を効果的に活用できない。そこで本研究では、アプリケーション要求の差異を活用して個々の QoE を維持しながら面的な無線ネットワーク資源の有効利用の実現を目指す。この目的達成のためにはアプリケーション毎の QoE を把握し、適応的にチャンネル利用・経路制御を行う必要がある。本稿ではアプリケーションの通信フローの転送途中に OpenFlow のコントローラ上で QoE を推定する手法を検討する。

QoE はエンド端末で得られる計測値に基づいて計算される品質評価指標であるため、OpenFlow の制御メッセージのみでは取得できないパラメータも存在する。本研究ではそれらのパラメータを推定し、OpenFlow による計測値と合わせて用いる事で、転送中のアプリケーションの QoE を特定する。なお、本稿では、アプリケーションに動画配信を想定し、OpenFlow の制御メッセージを用いた QoE 推定手法を提案し、WMN 上で実証実験を行うことで有効性を検証する。

2. 関連研究

SDN を用いてネットワークパラメータを推定する研究はこれまでも実施されている。主な研究として、SDN の実装を用いて遅延を計測する手法が提案されている [4]。この遅延の計測手法は、まず、コントローラから送信したパケットが遅延を計測したい経路を経由し、コントローラに戻ってくるまでの時間を計測する。その後、経路の最初と最後のスイッチに対して、コントローラとの間の遅延を計測し、先の計測値との差分をとることで対象の区間での遅延を計測する。QoE はアプリケー

ション毎に必要なパラメータが異なるため、本研究では遅延だけでなく、様々なパラメータの計測・推定が必要となる。

3. 動画通信の QoE 計算

本章では、本研究で用いる QoE 計算式について説明する。

3.1 ITU-T G.1071 の概要

動画配信の QoE は ITU-T G.1071 [5] において標準化されている。G.1071 では、エンド端末で計測できるネットワークの品質や動画の解像度などの設定パラメータを入力として、動画配信サービスの QoE の算出方式が定められている。G.1071 で得られる QoE は動画と音声の QoE を総合した値が定義されているが、本研究では QoE に影響の大きい動画部分の QoE に着目する。

G.1071 では、動画の解像度によって 2 種類の QoE 計算式 (高解像度式と低解像度式と呼ぶ) が存在し、それぞれ入力するパラメータも異なる。対象となる動画の設定パラメータを表 1 に示す。得られる数値はどちらの計算式でも、マルチメディア品質の主観測定法の 1 つである MOS 値に合わせて 1 から 5 の実数値となる。

3.2 G.1071 の式と入力パラメータ

本節では、まず、G.1071 で使用する式の概要を説明し、その後、入力パラメータについて説明する。なお、本稿では紙面の都合から高解像度の QoE 推定に限定して説明する。

$$QV = 100 - QcodV - QtraV \quad (1)$$

$$QcodV = A \cdot e^{B \cdot bp} + C + (D \cdot e^{E \cdot bp} + F) + G \quad (2)$$

$$bp = \frac{br \cdot 10^6}{r \cdot fr} \quad (3)$$

$$QtraV = H \cdot \log(I \cdot plc + 1) \quad (4)$$

$$plc = J \exp\left\{K(L - M) \cdot \frac{pl}{M(N \cdot plb + O) + pl}\right\} - J \quad (5)$$

QV は QoE を 0~100 の値で評価したもので、これを MOS 値に変換する関数に入れることで QoE の値が得られる。A~O は G.1071 で定められた固定値である。なお、B, E は必ず負の数、それ以外の固定値は必ず正の数となる。QoE 計算に必要な主要な入力パラメータは 2 つの要素があり、それぞれの内容を説明する。

パケットロス情報:パケットロス率 pl [%] と平均連続パケットロス回数 plb を用いる。

動画の構成情報:動画ビットレート br [Mbps] とフレームレート

表 2 パケットロス率が QoE に与える影響

パケットロス率 (%)	QoE
0	4.654314
0.01	3.333041
0.1	1.874826
1	1.390250

表 3 平均連続パケットロス回数が QoE に与える影響

平均連続パケットロス回数	QoE
1	1.874826
10	3.110412
100	4.281420

f_r [fps], 解像度 r [pixel] を用いる。ここでの動画ビットレート, フレームレート解像度は動画エンコード時に設定されたものである。また, Packet Loss Concealment(PLC) 方式によって式 (5) の固定値が変化する。PLC 方式とは, パケットロスが発生した際にクライアント側の動画の補完方法である。損失したパケットを処理しない Freezing 方式と損失したパケットを補完する Slicing 方式の 2 種類が存在する。Slicing 方式は動画の 1 フレームあたりのスライス数によって補完精度が変わる。スライスは動画フレームを縦に分割したものである。

3.3 ITU-T G.1071 の理論調査

本節では ITU-T G.1071 の式の入力パラメータ毎に QoE に与える影響について調査する。解像度 SD, フレームレート 30fps, 動画ビットレート 2.5Mbps, パケットロス率 0.1%, 平均連続パケットロス回数 1 回, PLC 方式 Slicing かつ 1 フレーム 1 スライスの動画を基本として, QoE に与える影響の大きいパケットロス率, 平均連続パケットロス回数, PLC 方式の 3 つを変更した場合の QoE の変動を検証する。

まず, パケットロス率のみ変更した結果を表 2 に示す。表 2 より, パケットロス率が 0.1% で QoE が大きく劣化しており, QoE に対して与える影響が非常に大きい上, わずか 0.1% で大幅に QoE が減少することから極めて重要なパラメータであると言える。表 3 はパケットロス率を一定とし, パケットロスの連続発生回数による QoE の差異を示す。連続数が増えることで動画データの損失が特定のタイミングに集中することになるが, 損失率が一定であればデータ損失の回数は抑えられ, QoE の低下は限定的であると考えられる。式 (5) より, 平均連続パケットロス回数は分母の項であり, 平均連続パケットロス回数が増加することによって, plc の値が小さくなり, Q_{traV} の値が小さくなるため, 妥当であると言える。表 4 では, PLC 方式による QoE を示す。動画の 1 フレームを複数のスライスに分割しない場合, Slicing による補完がうまく働かないため, Slicing かつ 1 フレーム 1 スライスの場合がもっとも QoE が低い。

以上の通り, 上記 3 つのパラメータは QoE の値が大きく異なる。パケットロス率はネットワーク毎に異なるパラメータであるため, 計測が必要である。しかし, SDN の計測に基づく統計値では平均連続パケットロス数は計測できない。また, PLC 方

表 4 PLC 方式が QoE に与える影響

PLC 方式	QoE
Freezing	2.454080
Slicing かつ 動画の 1 フレームのスライス数 =1	1.874826
Slicing かつ 動画の 1 フレームのスライス数 >1	2.531622

式も SDN で扱うパケットヘッダ情報には含まれないため, 特定が困難である。それ以外のパラメータについても QoE に与える影響は小さいものの SDN での特定が困難である。以上より, パケットロス率は計測が可能である一方, 平均連続パケットロス数と全ての動画パラメータ (動画ビットレート, フレームレート, 解像度, PLC 方式) は推定する必要がある。

4. G.1071 のパラメータ推定による SDN ベースの QoE 推定

本節では, 動画配信の QoE を SDN の制御メッセージで得られる情報から推定する。QoE 計算の計算には G.1071 を用い, 3.3 節で述べたとおり, QoE 計算に必要なパケットロス率の計測とその他のパラメータを推定する手法を提案する。パケットロス率の計測手法を 4.1 節, その他のパラメータの推定手法を 4.2 節に示す。

4.1 パケットロス率の計測手法

3.3 節で説明した通り, QoE の計算にはパケットロス率の計測が必要である。パケットロス率は動画配信をネットワーク上で実際に転送して初めて得られる値であるため, SD-WMN 上で転送しながら OpenFlow の制御メッセージを用いて計測する。

OpenFlow ではコントローラ (OFC) がアクセスポイント (OFS) からフロー単位の統計情報 (FlowStats) を取得できる。本研究ではフローを送信元・先の IP アドレスとポート番号で定義する事でアプリケーション単位の通信として識別する。その上で FlowStats に含まれる統計情報 (フロー毎の転送パケット数と転送バイト数の累積値) を計測してパラメータ推定を行う。FlowStats に含まれる情報は累積値であるため, 任意の間隔で FlowStats を 2 度取得し, その差分を計算する事で任意の期間内で転送した転送パケット数と転送バイト数が得られる。1 つの経路上を転送するフローに対して, 経路の両端でこの転送パケット数を計測し, その差分を計算する事で経路途中のパケットロスを原理的には計算できる。しかし, FlowStats は OFC から要求パケットを送信して得るため, 複数の OFS から FlowStats を集める場合には計測タイミングに差が生じてしまう。その結果, 差分計算のみではパケットロス数を過大に評価する場合がある。3.3 節で調査した通り, パケットロス率のわずかな差で QoE が大幅に変化してしまうため適切な計測手法が必要となる。

そこで, 本研究では転送パケット数の差を時間軸で補正することでパケットロス数を推定 (図 1) し, パケットロス率を計算する。パケットロス数の誤差は経路上で動画送信端末に最

表 5 解像度・フレームレートに対する推奨動画ビットレート

解像度	フレームレート (fps)	動画ビットレート (kbps)
SD(720×480)	24,25,30	2,500
SD(720×480)	48,50,60	4,000
HD(1280×720)	24,25,30	5,000
HD(1280×720)	48,50,60	7,500
HD(1920×1080)	24,25,30	8,000
HD(1920×1080)	48,50,60	12,000

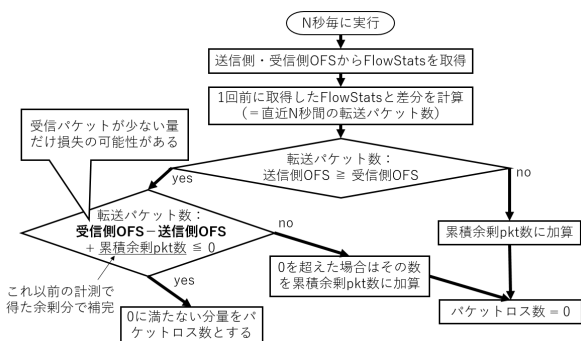


図 1 提案手法のフローチャート

も近い OFS (送信側 OFS) と受信者に最も近い OFS (受信側 OFS) において転送パケット数に差が生じる事で起きる。同一の間隔で受信側・送信側 OFS の転送パケット数を計測している場合、受信側 OFS が送信側 OFS より多い転送パケット数であった場合には明らかに計測時間のずれによる誤差であるため、その差分を累積余剰パケット数として保持しておく。一方、送信側 OFS が受信側 OFS より転送パケット数が多い場合には損失である可能性がある。この時、それ以前の計測で累積余剰パケット数がある場合には誤差であることが予測できるため、それを加算する事で誤差を補正する。これによって計測タイミングのずれによって転送パケット数が前後の時間での計測結果間で相互に補完することができる。

なお本研究では図 1 の通り、一定間隔で FlowStats を取得してパケットロス率を計測する。G.1071 では 8 秒～24 秒間で得た計測結果を用いて QoE を計算する事が定められており、将来的にフロー制御を QoE の変化に合わせて適応的に行うために最も短時間である 8 秒毎に計測することとする。

4.2 その他のパラメータの推定手法

3.3 節で示した通り、平均連続パケットロス回数、動画ビットレート、フレームレート、解像度、PLC 方式については推定が必要である。本節では、上記のパラメータの推定法を提案する。

平均連続パケットロス回数: OpenFlow は統計情報の取得のみが可能であるため、連続パケットロス数の取得は困難である。そこで QoE の過大評価を避けるために、表 3 の結果から連続パケットロス回数を 1 (QoE が最も低下する状況) と仮定する。

動画ビットレート: 画データ自体の情報をネットワーク上で取得する事は困難であるため推定する。動画ビットレートはネットワーク上でフロー単位のスループットを用いる。スループットの計測には FlowStats 中の転送バイト数を利用する。転送バイト数には累積パケット数と同様に、OFS ごとにフローの累計バイト数が記録されている。そこで、無線区間の損失によるスループットの誤計測を回避するために、送信端末に最も近い OFS の転送バイト数を用いる。

フレームレート・解像度: フレームレートと解像度は動画ビットレートを基準として動画の推奨設定 [6] から推定する。各解像度に対する推奨動画ビットレートを表 5 に示す。表 5 を元に作成した解像度・フレームレート推定表を表 6 に示す。フレー

表 6 解像度・フレームレート推定表

動画ビットレート (kbps)	解像度	フレームレート (fps)
～3,250	SD(720×480)	30
3,250～4,500	SD(720×480)	60
4,500～6,250	HD(1280×720)	30
6,250～7,750	HD(1280×720)	60
7,750～10,000	HD(1920×1080)	30
10,000～	HD(1920×1080)	60

ムレートは 1 つの推奨ビットレートに対して複数が存在するが、フレームレートは高いほど、QoE はわずかに悪くなるため、最悪値を取り、それぞれ表 5 の最大値を選択する。ただし、推奨動画ビットレート通りでない動画も存在するため、閾値を設定する。推定した動画ビットレートに最も近いものが選択されるように閾値は各推奨ビットレートの中央値とする。また、推定した動画ビットレートがちょうど中央値だった場合は両者ともに計算を行い QoE の低い方を選択する。

PLC 方式: PLC 方式は動画データを取得する必要があるため推定困難であるため、仮定をおく。表 4 の結果より QoE が最悪値をとる Slicing かつ 1 フレーム 1 スライスとする。

5. 実機実験による評価

本節では、提案手法の実機実験を行った結果を示し、比較手法、真値との比較を行うことで、提案手法の評価を行う。

5.1 比較手法

各 OFS の転送パケット数を単純に比較することでパケットロス率を推定したものを比較手法とする。各 OFS から取得した 8 秒毎の転送パケット数のうち、最大値と最小値の差分を最大値で除算することで得たパケットロス率を推定し、それを用いて QoE 計算を行う。

5.2 実験環境

実験のトポロジを図 2 に示す。WMN は IEEE802.11a の 120 チャネルを使用し、OFC には Trema, OFS には OpenvSwitch を用いる。また、OFC-OFS 間は OpenFlow の制御パケットの遅延や損失を回避するために有線とする。また、端末-OFS 間も端末の無線品質の影響を避けるために有線とした。OFS 間の距離は 70cm とする。

5.3 パケットロスがない環境での評価

コーデック H.264, 解像度 SD, フレームレート 30fps, 動画ビットレート 2.5Mbps で固定レートの 60 秒の動画を実験環境

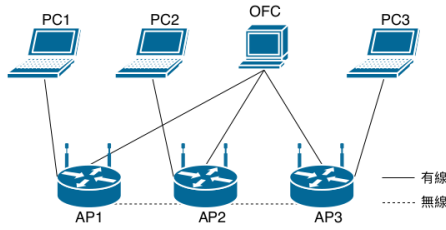


図2 実験環境

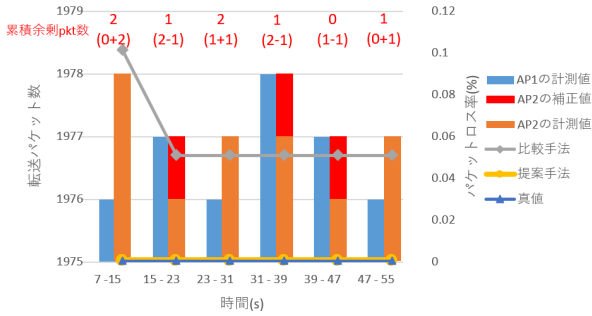


図3 1ホップのパケットロスなし環境での転送パケット数と各手法のパケットロス率

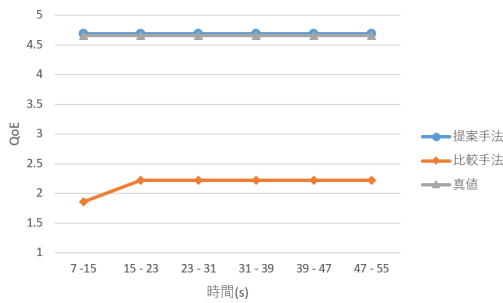


図4 1ホップのパケットロスなし環境でのQoE

のPC1からPC2に対して配信する。パケットロス率の真値はそれぞれのエンド端末で計測する。また、QoE推定は動画終了時の影響を回避するため、55秒で計測を終了する。なお、動画情報は表6に基づき推定しており、全ての実験において正確に判別できている。以降はパケットロスに着目して評価を行う。

転送パケット数と各手法におけるパケットロス率を図3に、QoEの推定結果を図4に示す。図3より、AP1とAP2の転送パケット数には数パケットの誤差が発生していることがわかる。図4では、比較手法がその誤差によって、QoEが真値より2以上低くなっている。一方、提案手法では、7-15、23-31秒区間に発生した受信側OFSの転送パケット過多による累積超過パケットが15-23、31-39、39-47秒区間に発生した受信側OFSの転送パケット過少を補正しており(図3)、パケットロス率の推定誤差は発生していない。このように、QoEが真値とほとんど等しい値をとれているため、パケットロス率の推定に有効であるといえる。

次に、マルチホップ環境におけるQoE推定を評価する。図2において、PC1からPC3へと動画を送信して無線区間が2ホップの構成とする。推定QoEを図5に示す。図5より、1

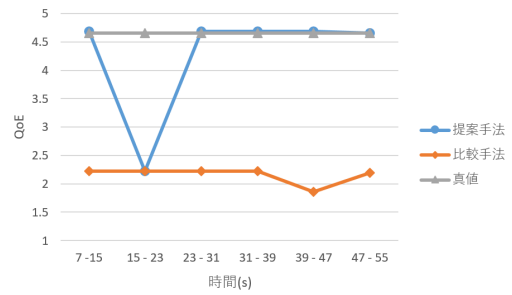


図5 2ホップのパケットロスなし環境でのQoE

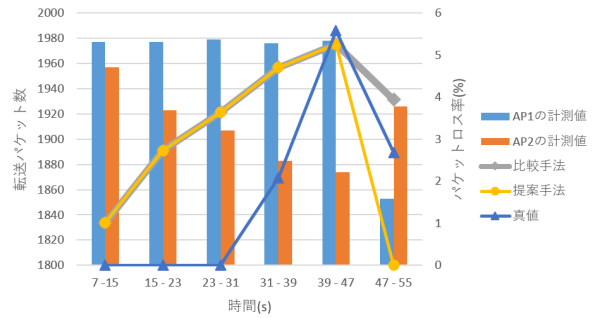


図6 クロストラヒックを挿入した際の転送パケット数と各手法の転送パケット数

ホップ時の結果と同様に、比較手法では累積パケット数の取得誤差の影響でQoEが真値よりも2以上低い値となっており、提案手法ではQoEの値は真値とほぼ等しい値をとった。15-31秒区間のQoEの大きな誤差は、受信側OFSの転送パケット過少となる誤差が受信側OFSの転送パケット過剰となる誤差よりも先に発生し、累積余剰パケットが無いため補正できない事による。受信側OFSの転送パケット過少となる誤差が先に発生した場合は、パケットロスと区別がつかないため、誤差の補正ができない。しかし、この誤差が発生しているのは一時的な発生に留まるため、マルチホップにおいても提案手法は有効であるといえる。

5.4 パケットロスがある環境での評価

本節では、パケットロスのある環境における提案手法の有効性を評価する。クロストラヒックによるバッファオーバーフローによるパケットロスと無線品質劣化によるパケットロスの2種類のパケットロスに対する推定QoEを評価する。

まず、図2の実験環境においてPC1からPC2に対して動画通信のフローを送信しながら、クロストラヒックをPC1からPC2に対して送信することでバッファオーバーフローによるパケットロスを発生させる。クロストラヒックはiperfを用いてudpの14.1Mbpsのフローを送信する。転送パケット数と各手法のパケットロス率を図6に、QoE推定の結果を図7に示す。図6より、7-31秒までの区間ではパケットロス率の真値は0%であるのに対して、比較手法、提案手法ともにパケットロスが発生していると判断していることがわかる。これは、クロストラヒックによってAP1でキューイング遅延が発生しているためである。キューイング遅延が発生するとパケットロ

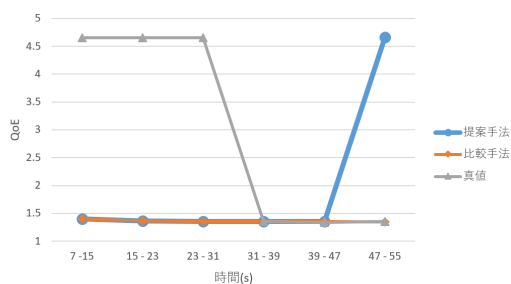


図7 クロストラフィックを挿入した際の QoE

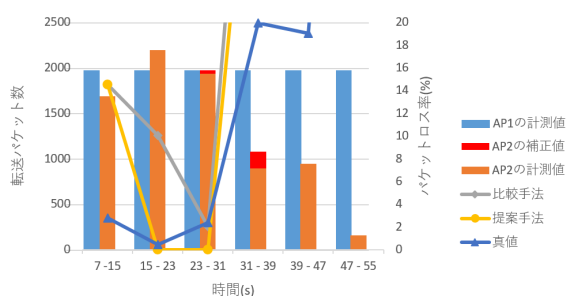


図8 20.5m 距離を離れた際の転送パケット数と各手法のパケットロス率

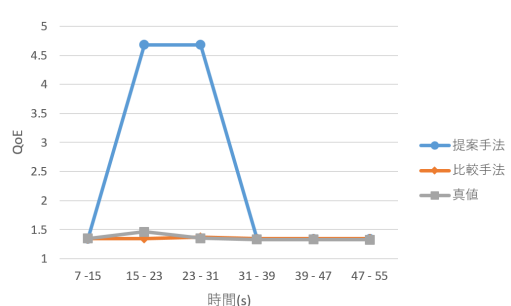


図9 20.5m 距離を離れた際の QoE

スが発生していない状態であったとしても、受信側 OFS の転送パケット過少の状態となり、大幅な損失と判断される。そのため、31 秒までは QoE が真値よりも非常に低い値となっている。このように、クロストラフィックによってバッファオーバーフローによるパケットロスが発生する環境では、提案手法は適用できない。

続いて、AP 間の距離を離し、無線損失に対する提案手法の有効性を示す。図 2 の AP1, 2 の間の距離を 20.5m 離し、動画設定等は同様の条件で実験を行う。転送パケット数の補正と各手法のパケットロス率を図 8 に、QoE 推定の結果を図 9 に示す。図 8 より、15-23 秒の区間では、提案手法では比較手法と比較して、パケットロス率が真値に近い値を取れており、ある程度の推定ができていたことがわかる。15-23 秒区間は真値のパケットロス率の小さい区間であり、低パケットロス率の環境ではパケットロス率は推定できる。しかし、QoE は図 9 より、上記の区間では真値よりも非常に高い値をとっている。これは、真値のパケットロス率は 0.4% ほどであり、低パケットロスになったために受信側 OFS の転送パケット過大となり、パケッ

トロス率が 0% と推定されたためである。3.3 節より、0.4% でも QoE は低い値をとることがわかっているため、この結果は妥当である。その他の区間では真値のパケットロス率が高く、無線の再送による遅延が発生しているため、クロストラフィック環境と同様に受信側 OFS の転送パケット過少の状態となり、パケットロス率の推定精度は劣化する。しかし、QoE では 1% 以上のパケットロスではほぼ最低値となるため、パケットロス率の推定誤差は QoE にほとんど影響を与えていない。そのため、高パケットロス環境であれば、提案手法での QoE 推定は有効であると言える。パケットロス率推定精度は劣化しているが、無線品質劣化によるパケットロスについては、無線レイヤが直接取得したパケットロス率を通知してもらうことで、パケットロス率推定精度向上が見込まれるため、今後はこの連携について取り組む。

6. おわりに

本稿では、OpenFlow によるフロー制御をアプリケーション毎の QoE を考慮して行うために、まず、動画通信の QoE 計算式についてネットワーク情報と動画情報の差異による QoE への影響を理論調査し、パケットロス率が極めて重要なパラメータであることを示した。OpenFlow の制御メッセージである FlowStats を用い、時間軸に着目したパケットロス率の誤差を補正する QoE の推定手法を提案した。提案手法はパケットロスのない環境においては QoE は真値と同等の数値を推定できる事を実証した。一方、パケットロスのある環境ではパケットロス率の推定精度は劣化した。無線パケットロスについては、無線レイヤから直接パケットロス率を取得してもらったものを通知してもらうことで推定精度の向上が見込まれるため、今後はこの連携について取り組む。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 JP17H03270、及び国立研究開発法人情報通信研究機構の委託研究による成果を含む。ここに記して謝意を表す。

文 献

- [1] M Tagawa, Y Taenaka, K Tsukamoto, and S Yamaguchi. "A Channel Utilization Method for Flow Admission Control with Maximum Network Capacity toward Lossfree Software Defined WMNs," ICN 2015, pp. 118-123, Lisbon Portugal, Feb 2016.
- [2] 田川真樹, 妙中雄三, 塚本和也, "無線バックボーンネットワークにおける複数チャネルを用いたアップ・ダウンストリーム分離と均等フロー割当手法の設計・実装," 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会, Feb. 2014
- [3] 和田祐太郎, 田川真樹, 塚本和也, 妙中雄三, "無線メッシュバックボーンネットワークにおける複数チャネル有効利用を目的とした通信制御手法の評価," 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会, March 2014.
- [4] E.H. Bouzidi, D.H. Luong, A. Outtagarts, A. Hebbbar and R. Langar. "Online-based Learning for Predictive Network Latency in Software-defined Networks," globecom, Dec 2018.
- [5] Recommendation ITU-T G.1071, "Opinion model for network planning of video and audio streaming applications," Nov 2016.
- [6] YouTube ヘルプ アップロードする動画の推奨エンコード設定 <https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=ja>