

ライブ動画配信におけるビットレート選択粒度が ユーザ体感品質に与える影響の性能評価

速水祐作

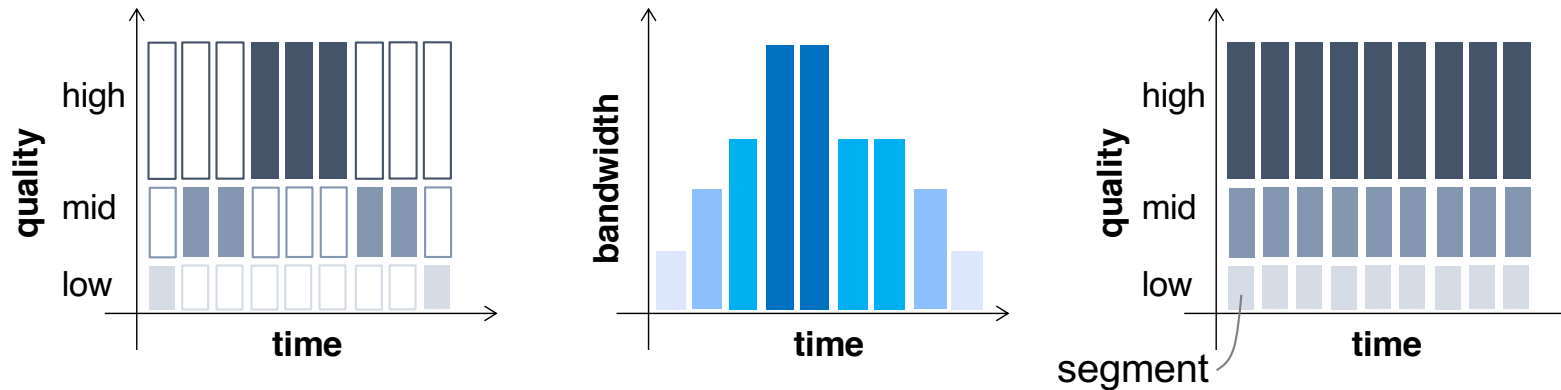
情報通信研究機構(NICT)

山本幹

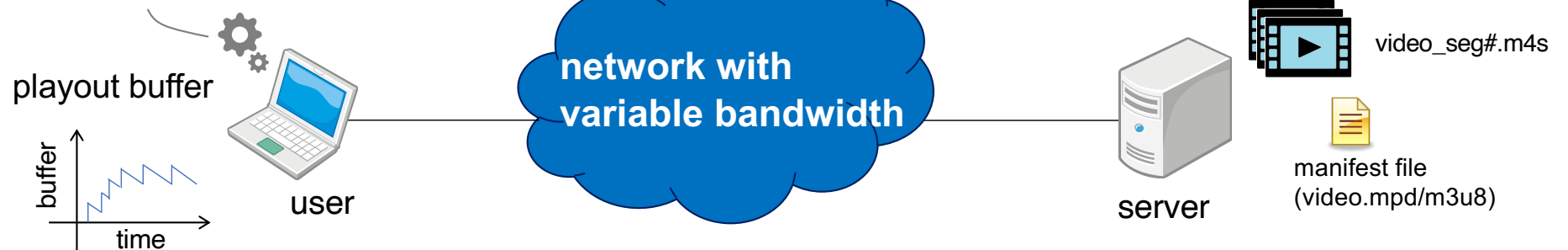
関西大学

- ビデオストリーミング技術

- MPEG-DASH (MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) [1]
- HLS (HTTP Live Streaming) [2]



ABR (Adaptive Bitrate) algorithm



ユーザは時々刻々と変化するネットワーク状況に適合したビットレートを ABR アルゴリズムにより選択することで、適切な品質での動画視聴が可能

[1] ISO/IEC 23009-1: 2014, May 2014, <https://www.iso.org/standard/65274.html>

[2] RFC8216 HTTP Live Streaming, August 2017, <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8216>

- エンコーディング遅延

- ビデオを数秒のセグメントに分割してエンコーディングするためのエンコーディング処理遅延が発生

- ファイル保存

- エンコーディング処理したデータをそのまま配信するのではなく、ファイル(.m4sなど)に保存する

→ ネットワーク内に全く遅延がない状況でも、少なくとも one DASH/HLS セグメントの長さ分の視聴遅延が発生

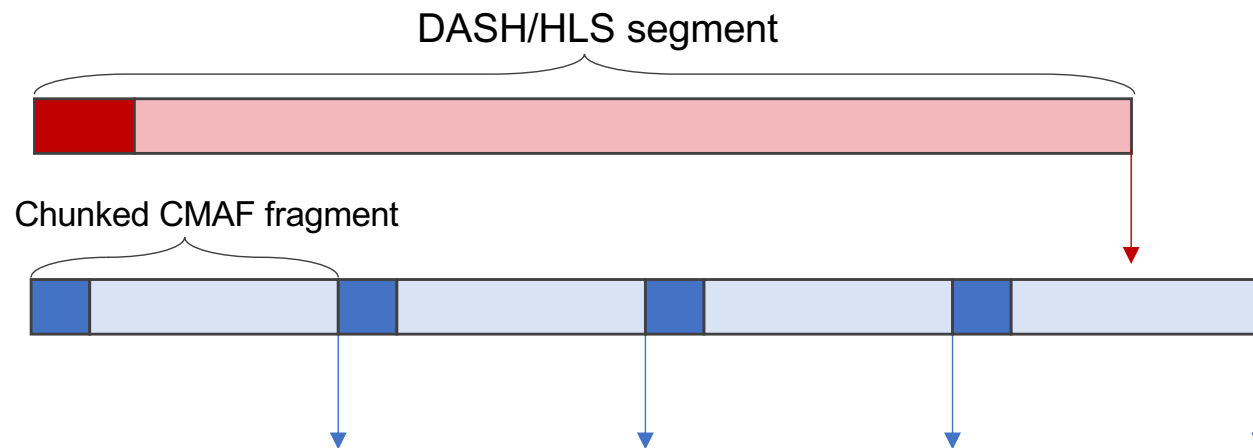
- ライブ配信に関するプロトコル制約

- ライブ配信における Recommendation [2] では、ネットワーク帯域の変動を考慮するため、セグメント数個(3セグメント)分のバッファリングが推奨

DASH/HLS ベースのライブ配信においては視聴遅延 (live delay)*が増加 (十数秒の視聴遅延が発生する可能性が高い)

* ビデオ配信者の撮影時刻と受信者の再生時刻の差

- CMAF (Common Media Application Format) [3]
 - DASH-HLS フォーマット間の差異により生じる複雑さの解消がモチベーション
 - セグメントをより細かいチャンク・フラグメント単位に分割
 - HTTP/1.1 Chunked Transfer Encoding により逐次転送可能



視聴遅延の低減により、大規模ライブ配信（スポーツ、音楽鑑賞、遠隔授業など）における応用も期待されている [4]

[3] ISO/IEC 23000-19:2018, Jan. 2018, <https://www.iso.org/standard/71975.html>

[4] T. Lyko, et al., "Evaluation of CMAF in Live Streaming Scenarios," in Proc. ACM NOSSDAV'20, Jun. 2020, pp. 21-26,

- 本稿の内容

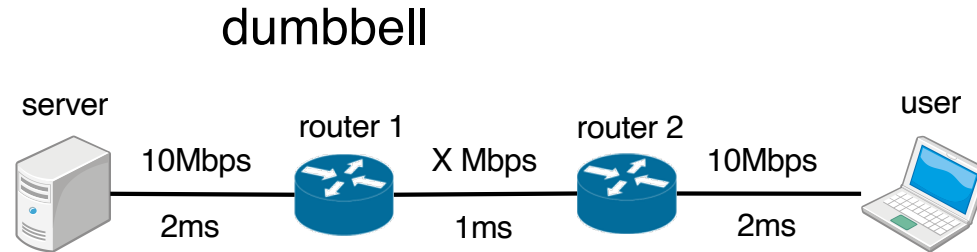
- Real-time video streaming におけるライブ配信用プラットフォームとして CMAF技術の利用を検討し、ユーザ体感品質 (QoE: Quality of Experience) の観点で性能評価
- DASH/HLS セグメント単位・CMAF チャンク(セグメントをさらに細分化したファイル) 単位にビットレート選択をする方式を比較
- 帯域変動データセットを用いて実ネットワークを想定した QoE 特性を ns-3 シミュレーションにより評価
- 複数ユーザが同時視聴する環境における性能評価

- 研究目的

- 従来のセグメントという荒い選択粒度では無く、CMAF チャンク毎に細かい粒度でビットレート選択する方法の可能性を検討
 - ネットワーク帯域の変動へのさらなる適応ができるか
 - 過度にチャンク長を短くすることによるデメリットは無いか

※ ICN (CCN/NDN) ではなく、over HTTP の話

- トポロジ



- シミュレータ

ns-3.27

- ビデオ情報

- ビデオ長 200 [s]
- セグメント長 2 [s]
- チャンク長 0.5 [s]
- ビットレート 1, 2, 4, 6 [Mbps]

- 帯域変動

- 米国FCCのデータセット[D]
 - 帯域変動 & 帯域安定の2パターンを恣意的に選択
 - 無作為に選択した 100 パターンの平均値

- ABR アルゴリズム

- Rate-Based Adaptation
 - 予測帯域以下の最大ビットレートを要求

- 評価指標

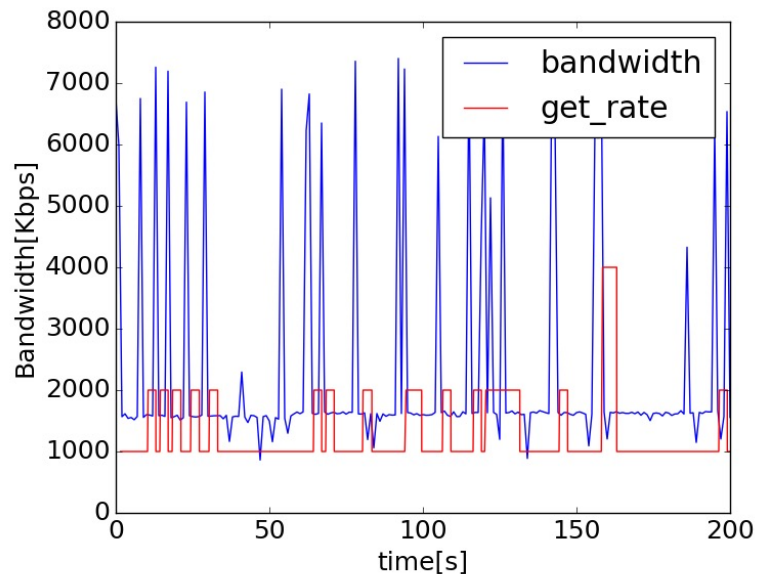
- 総獲得ビット量 [byte]
- 総再生停止時間 [s]
- QoE
- 視聴遅延 (live delay)

- 評価方式

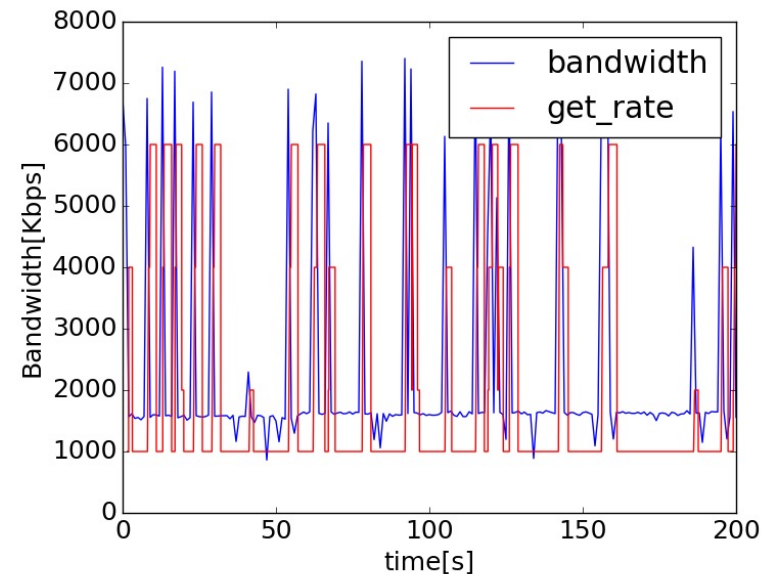
- SBA: Segment-Based Adaptation
- CBA: Chunk-Based Adaptation

- 帯域変動時

SBA

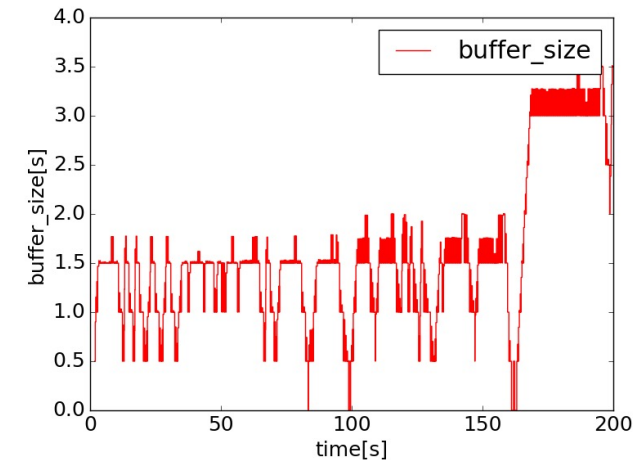


CBA

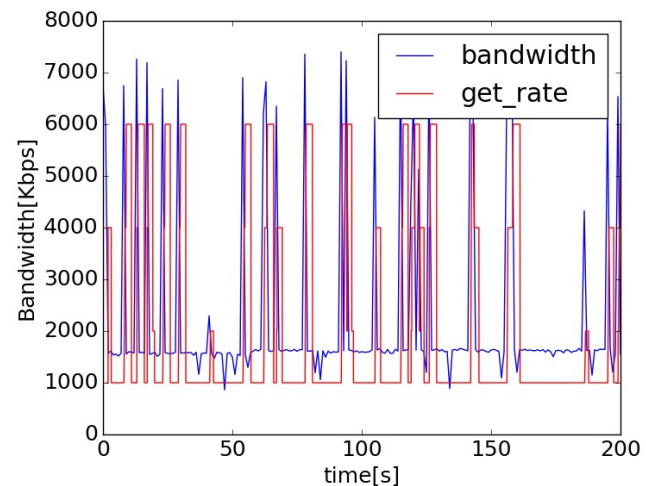
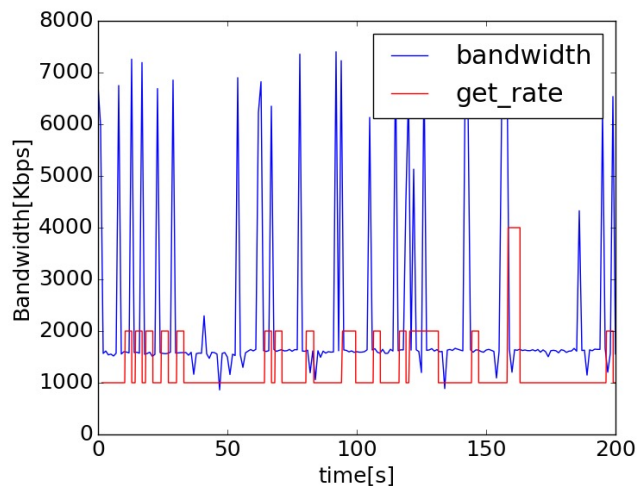
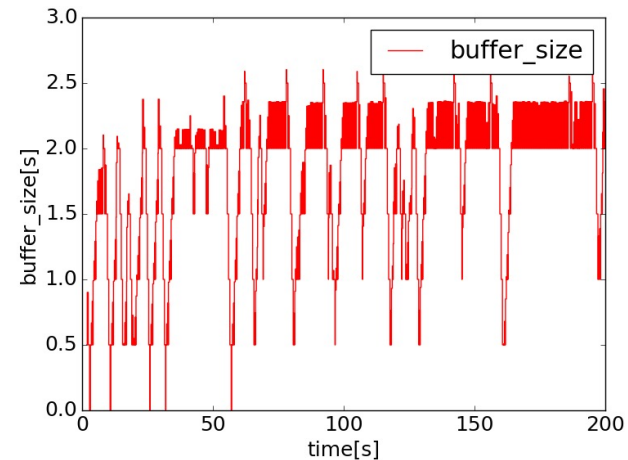


CBAは瞬時的な帯域上昇時に即座に取得ビットレートを上昇
→ 総獲得ビットレート量が向上

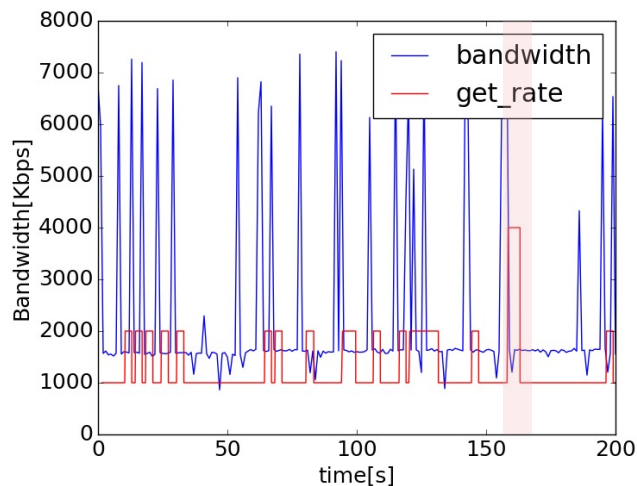
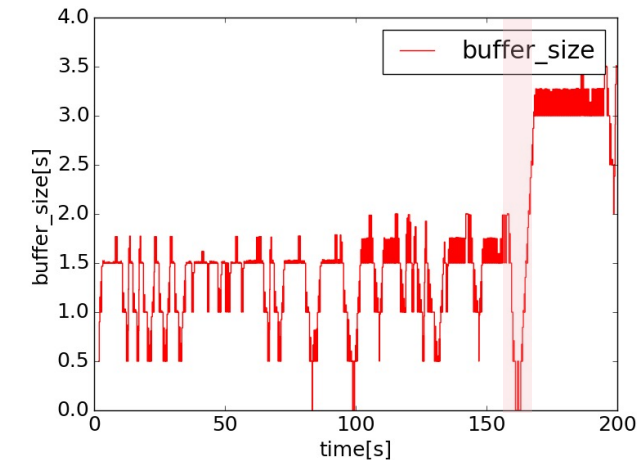
SBA



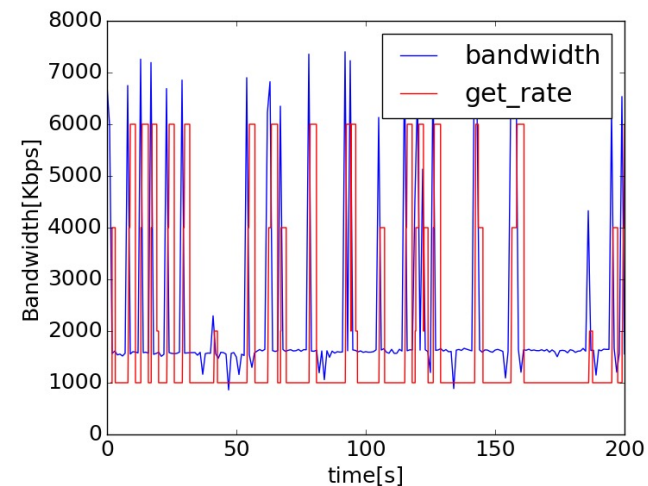
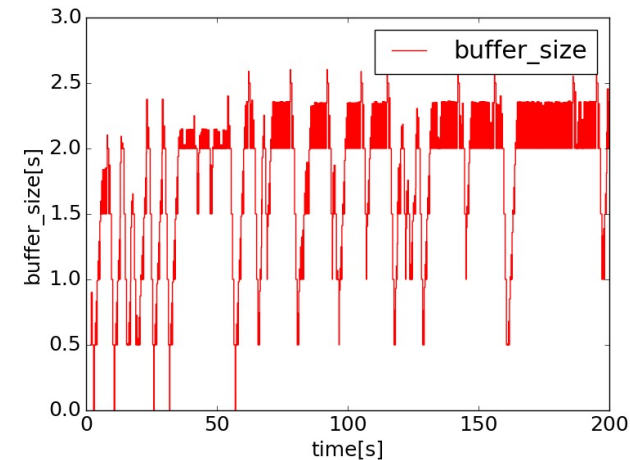
CBA



SBA

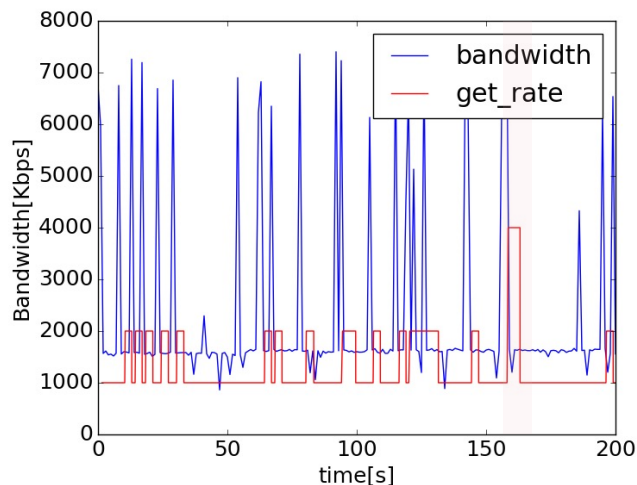
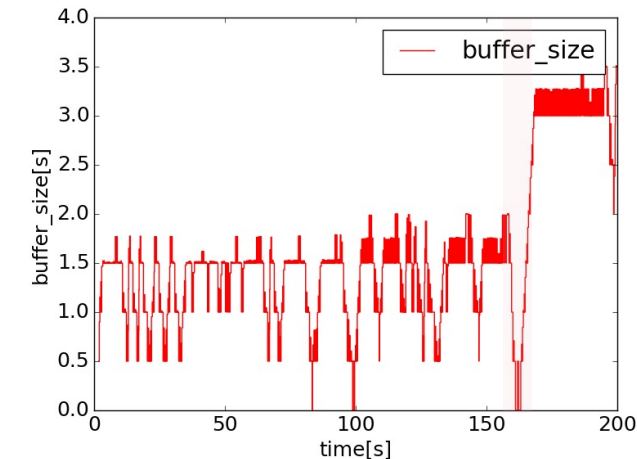


CBA

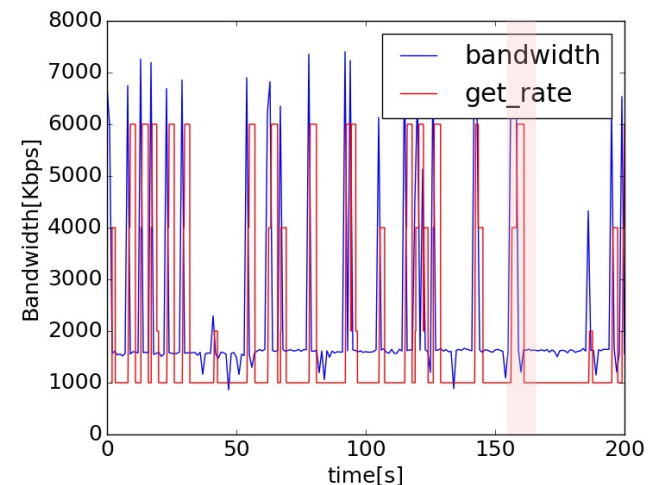
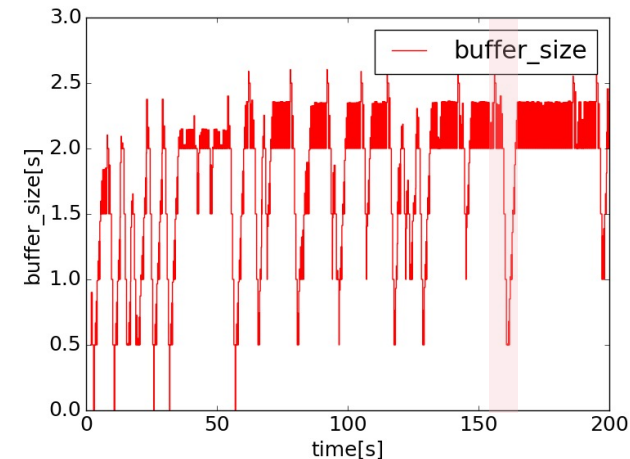


- SBA はビットレート選択粒度が粗いので、要求したセグメント受信が完了しなければ次の(低い)ビットレートを選択できない → バッファ枯渇 & 再生停止の危険性

SBA



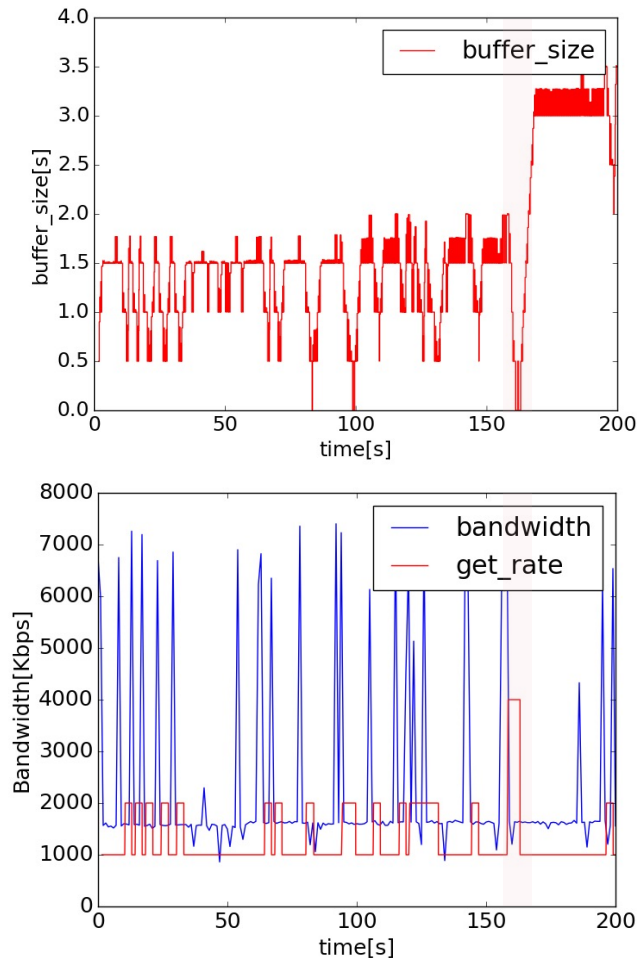
CBA



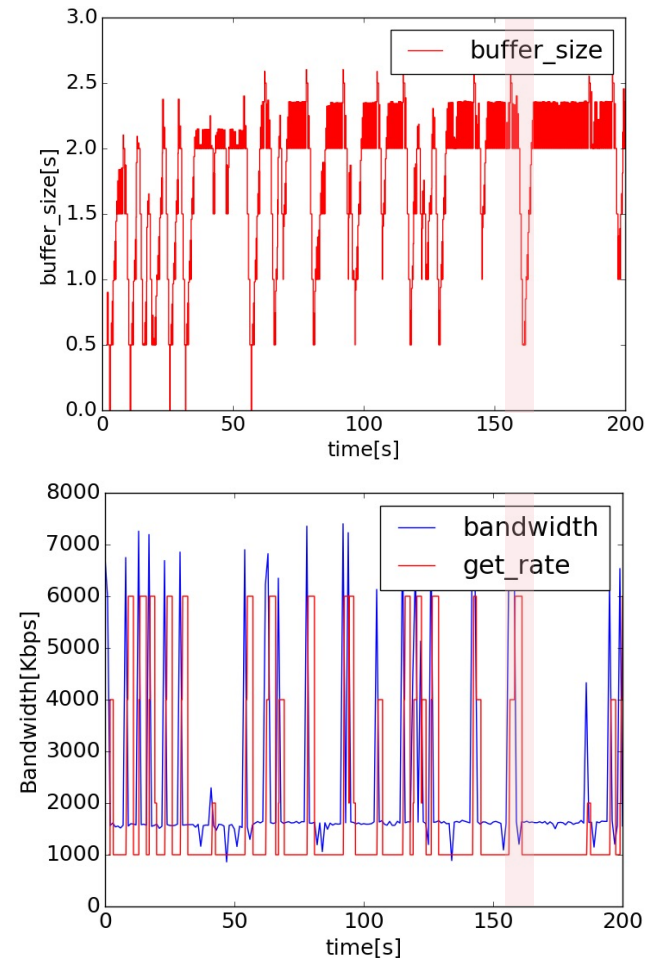
- SBA はビットレート選択粒度が粗いので、要求したセグメント受信が完了しなければ次の(低い)ビットレートを選択できない → バッファ枯渇 & 再生停止の危険性
- CBA は帯域後推定時に瞬時にビットレートを低下させるため、再生停止を回避

最大再生停止時間
SBA 0.785 秒
CBA 0.334 秒

SBA



CBA



- SBA はビットレート選択粒度が粗いので、要求したセグメント受信が完了しなければ次の(低い)ビットレートを選択できない → バッファ枯渇 & 再生停止の危険性
- CBA は帯域後推定時に瞬時にビットレートを低下させるため、再生停止を回避

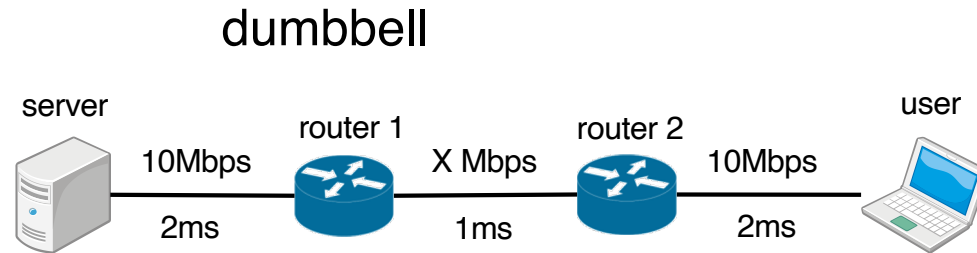
	帯域変動時		帯域安定時	
	総獲得ビット量[MB]	総再生停止時間[s]	総獲得ビット量[MB]	総再生停止時間[s]
SBA	30.50	1.74	25.00	0
CBA	39.44	0.827	25.00	0

- 帯域変動環境
 - SBA よりも CBA の獲得ビット量が多い
 - SBA よりも CBA の再生停止時間が少ない

- 帯域安定環境
 - SBA、CBA共に同等の性能で、再生停止は観測されなかった

- チャンク化によるオーバーヘッドを伴うものの、CMAF チャンク毎に細かい粒度でビットレート選択する事で帯域変動に瞬時に適応するため、獲得ビットレートが増加
- CBAは瞬時的にレート変更可能なので、再生停止時間が減少
→ **CBAによる QoE向上の可能性を示唆**

● トポロジ



● シミュレータ

ns-3.27

● ビデオ情報

- ビデオ長 200 [s]
- セグメント長 2 [s]
- チャンク長 0.5 [s]
- ビットレート 1, 2, 4, 6 [Mbps]

● 帯域変動

- 米国FCCのデータセット[D]
 - 帯域変動 & 帯域安定の2パターンを恣意的に選択
 - 無作為に選択した 100 パターンの平均値

● ABR アルゴリズム

- Rate-Based Adaptation
 - 予測帯域以下の最大ビットレートを要求

● 評価指標

- 総獲得ビット量 [byte]
- 総再生停止時間 [s]
- QoE
- 視聴遅延 (live delay)

● 評価方式

- SBA: Segment-Based Adaptation
- CBA: Chunk-Based Adaptation

- QoEのモデル [6]

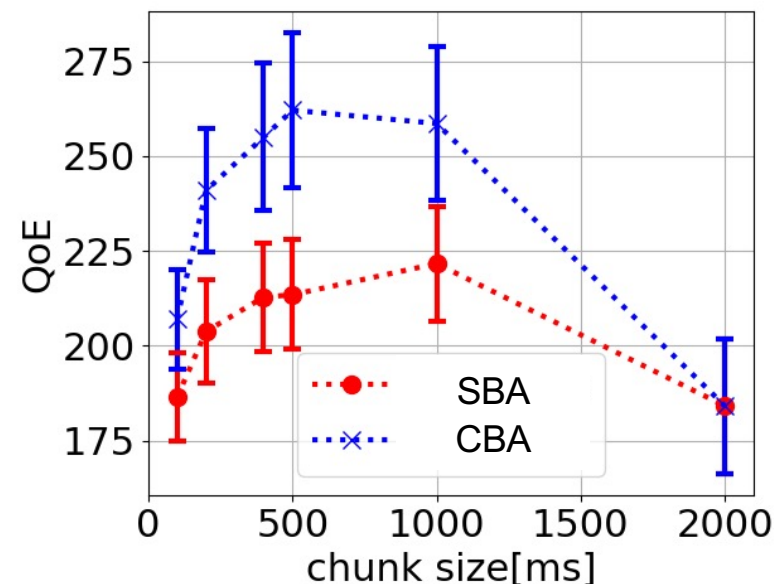
$$QoE_1^K = \underbrace{\sum_{k=1}^K q(R_k)}_{\text{bitrate}} - \underbrace{\lambda \sum_{k=1}^{K-1} |q(R_{k+1}) - q(R_k)|}_{\text{quality change}} - \underbrace{\mu \sum_{k=1}^K b_k}_{\text{stalling}} - \underbrace{\mu_s D}_{\text{startup delay}}$$

bitrate

quality change

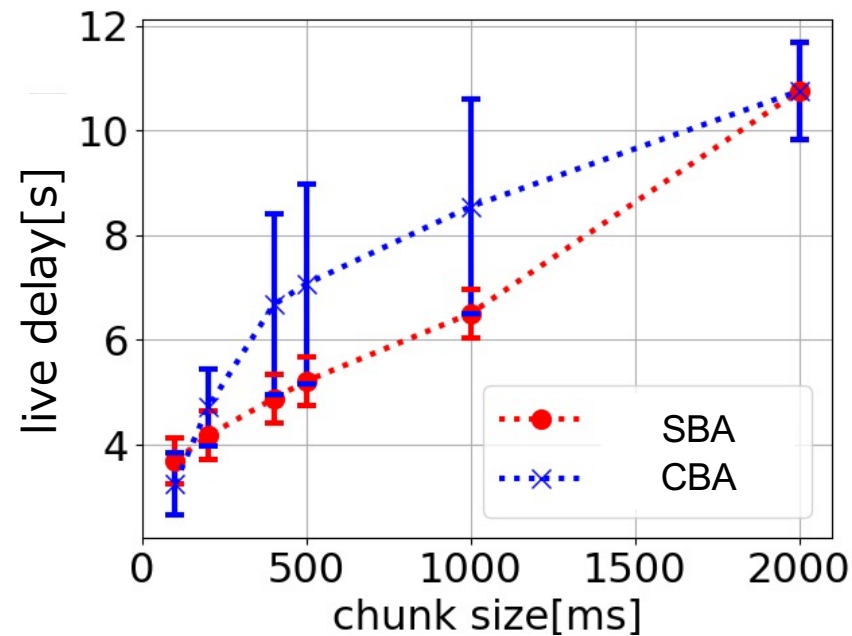
stalling

startup delay



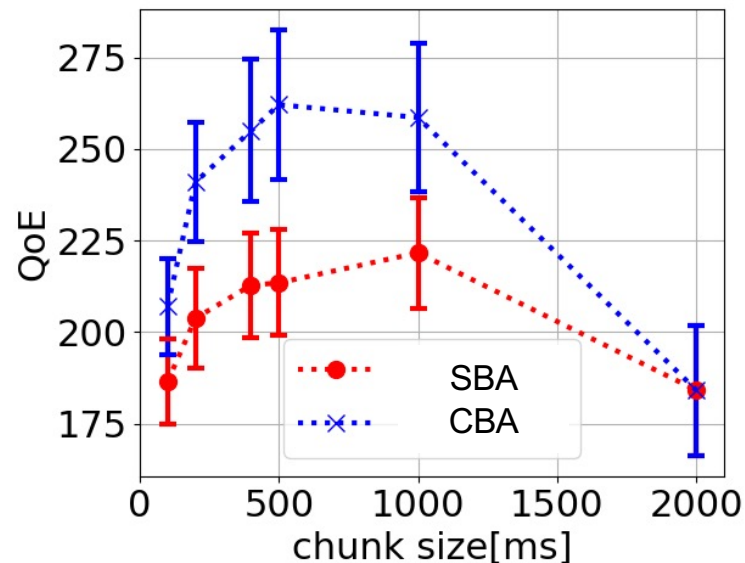
- QoEはチャンクサイズが小さくなると基本的に上昇するが、小さくしすぎる (チャンクサイズ < 200ms) と悪化
- CBAの場合、チャンク長 500ms の時が最大
- 同一チャンク長の時、SBA より CBA の方が QoE が高い

- 視聴遅延: 受信者の再生時刻 - ビデオ配信者の撮影時刻

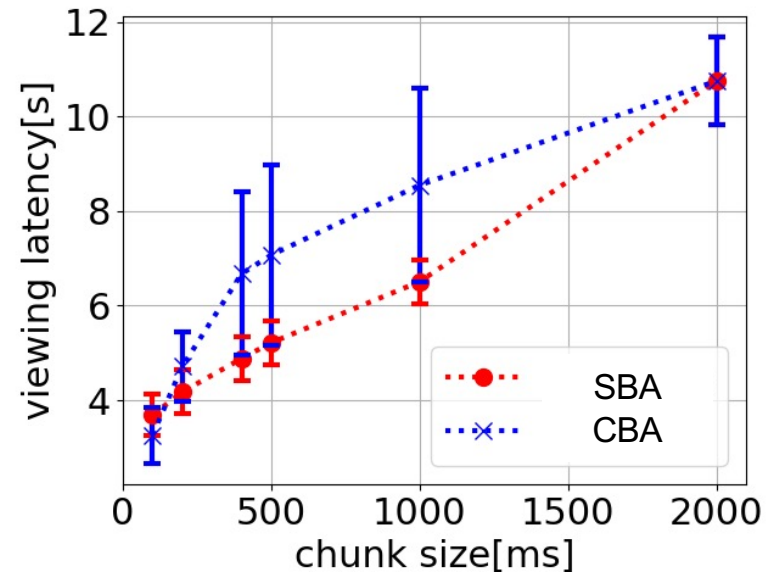


- 視聴遅延はチャンクサイズが小さくなるにつれて単調減少

QoE



live delay

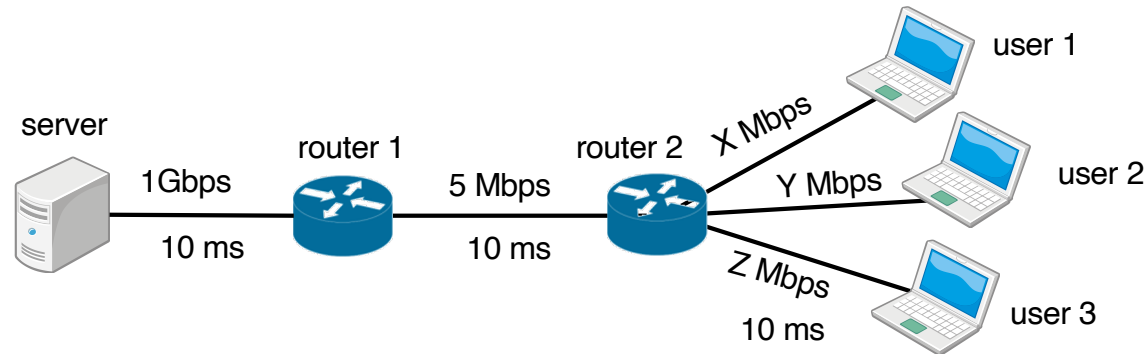


- 本評価により得られた知見

- チャンクサイズの減少に伴い視聴遅延は単調減少
- チャンクサイズ減少に伴い QoE は増加するが、過度な減少は逆効果
- アプリケーションの live delay 要件に応じた設定が必要

- トポロジ

dumbbell



- シミュレータ

ns-3.27

- ビデオ情報

- ビデオ長 200 [s]
- セグメント長 2 [s]
- チャンク長 0.5 [s]
- ビットレート 1, 2, 4, 6 [Mbps]

- 帯域変動

- 米国FCCのデータセット[D]

- ABR アルゴリズム

- Rate-Based Adaptation
 - 予測帯域以下の最大ビットレートを要求

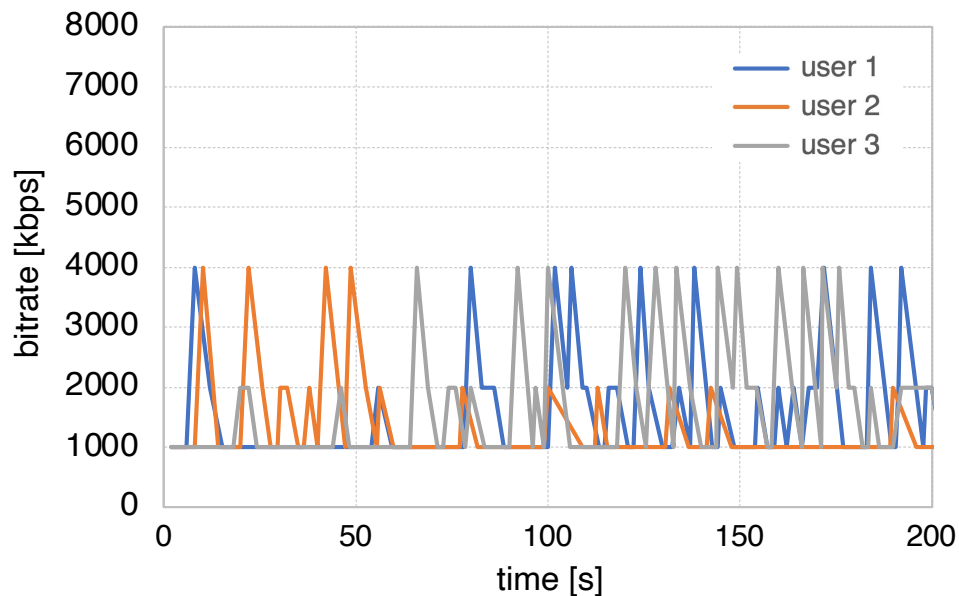
- 評価指標

- 獲得ビット量 [byte]
- 再生停止時間 [s]

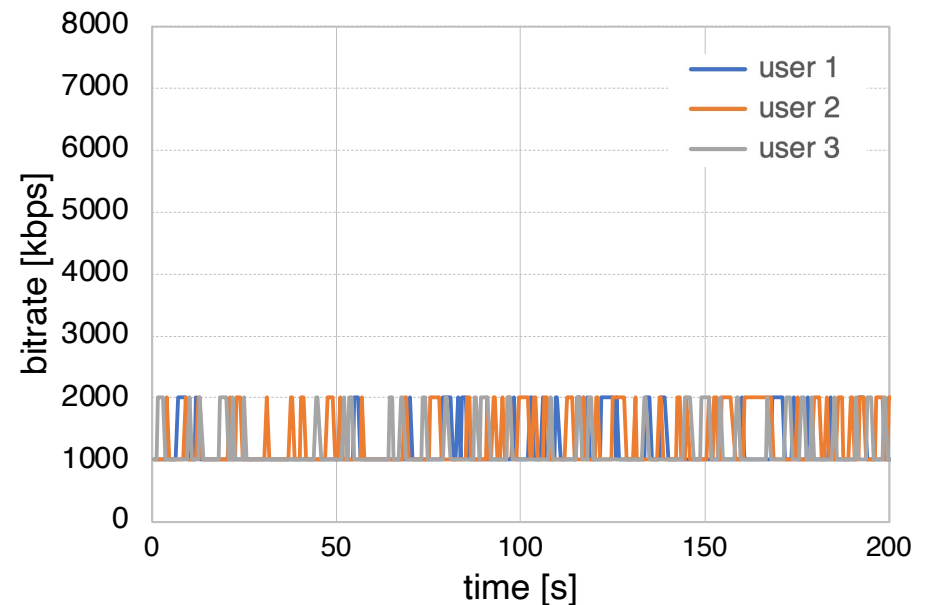
- 評価方式

- SBA: Segment-Based Adaptation
- CBA: Chunk-Based Adaptation

SBA



CBA

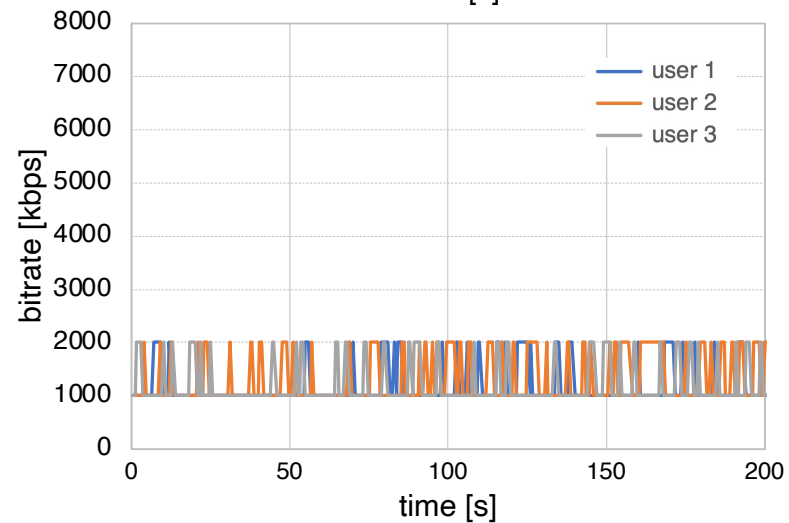
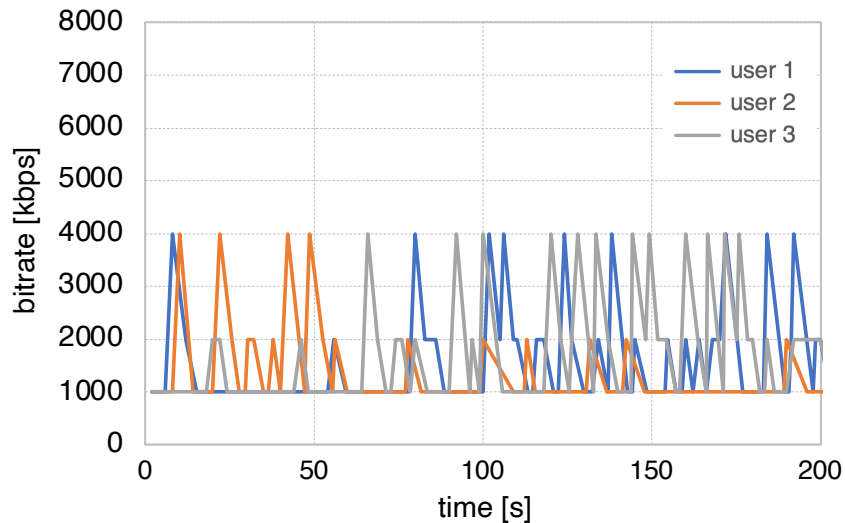
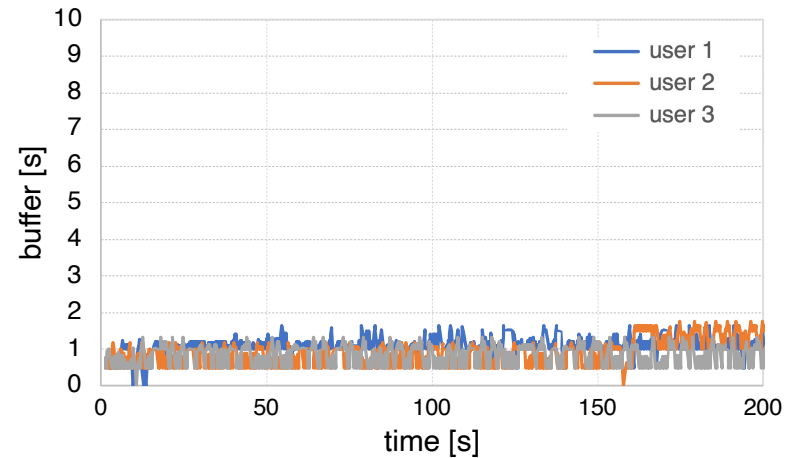
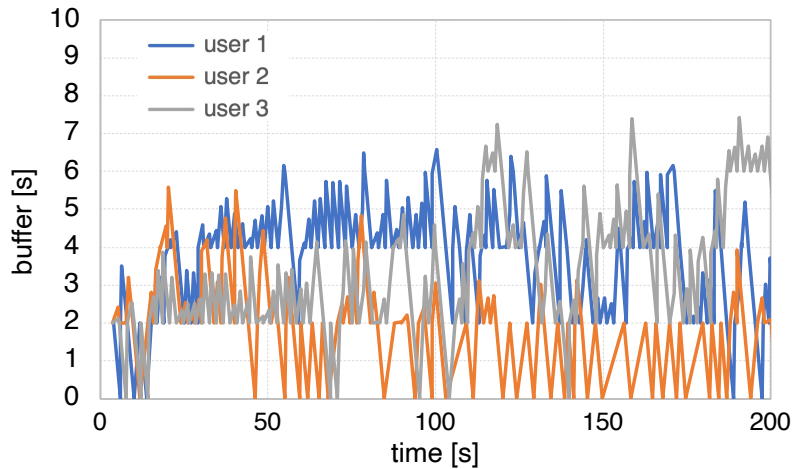


- SBA では、特定のユーザが fair-share レート (1.67Mbps) よりも高いビットレートを選擇する可能性
- CBA は fair-share レート付近で安定して推移

総再生停止時間
 SBA 83.1 秒
 CBA 1.15 秒

SBA

CBA



- 公平なビットレート選択ができない SBA では、user 2 の再生停止が多発
- CBA は細やかなレート制御により帯域資源を公平に分配することで再生停止を回避

- ビデオストリーミング技術
 - DASH/HLSを用いたライブ動画配信における課題
 - 視聴遅延の増加
- CMAFの応用を検討
 - チャンク(セグメントをさらに細分化したファイル)単位のビットレート選択
- 評価結果
 - チャンク単位で細かくビットレート制御する方式がリアルタイム配信においては有効
 - QoE 観点では、0.5ms程度の粒度が適切(短ければ良いというものではない)
 - 公平性観点では、CBAは適切に帯域資源を分配し、再生停止を抑制

今後の課題

- ライブ配信を想定した多人数が同時視聴環境における QoE 評価
- フラッシュクラウド型のユーザ再入モデルの検討

- [1] ISO/IEC 23009-1: 2014, May 2014, <https://www.iso.org/standard/65274.html>
- [2] RFC8216 HTTP Live Streaming, August 2017
<https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8216>
- [3] ISO/IEC 23000-19:2018, Jan. 2018, <https://www.iso.org/standard/71975.html>
- [4] T. Lyko, et al., “Evaluation of CMAF in Live Streaming Scenarios,” in Proc. ACM NOSSDAV’20, Jun. 2020, pp. 21-26,
- [5] <https://www.fcc.gov/oet/mba/raw-data-releases>
- [6] H. Mao, et al., “Neural Adaptive Video Streaming with Pensieve,” in Proc. ACM SIGCOMM17, Aug. 2017.

謝辞 本研究の一部は、JSPS科研費21H03434により得られたものである。