

プログレッシブダウンロード環境における マルチビュービデオ配信のための セグメントスケジューリング手法

木藤 嵩人¹ 大友 伊織¹ 藤橋 卓也¹ 廣田 悠介¹ 渡辺 尚¹

概要：プログレッシブダウンロードを用いてユーザが希望するカメラ映像を配信するマルチビュービデオ配信は、ネットワークを介してユーザにインタラクティブな没入体験を提供する技術として期待されている。従来の配信システムでは、ユーザは全カメラ映像をダウンロードすることによって、視聴するカメラ映像を切り替えながら映像を再生することができる。しかしながら、全カメラ映像のダウンロードは、ビデオトラヒックの増加を引き起こす。低トラヒックを達成する方法として、視聴中のカメラ映像のみのダウンロードが挙げられるが、カメラ切り替え時に映像再生が停止するという問題がある。本稿では、プログレッシブダウンロード環境において、ビデオトラヒックの削減および再生停止の抑制を達成する新たなマルチビュービデオ配信方式を提案する。提案方式では、視聴中のカメラ映像だけでなく、ユーザが視聴する可能性が高いカメラ映像もダウンロードすることで、スムーズなカメラ切り替えを可能にすると同時に冗長な映像伝送を抑制する。性能評価から、全カメラ映像をダウンロードする方式と比較して54.9%のトラヒック削減を達成することを示した。また、視聴中のカメラ映像のみをダウンロードする方式と比較して再生停止発生回数を86.0%削減することを明らかにした。

1. 序論

マルチビュービデオは自由視点テレビ [1], [2], [3], 3D テレビ [4] に代表される多くの3次元アプリケーションの基幹技術として注目されている。マルチビュービデオシステムでは、ユーザは複数台のカメラ（視点）の映像を取得した後、そのうちの1視点の映像を視聴する。このとき、ユーザは再生中に視聴中の視点から取得済みの別の視点へと切り替えることができる。ユーザによる代表的な視聴映像の切り替え方法として、隣接切り替えモデルが挙げられる [8]。隣接切り替えモデルでは、ユーザは現在視聴中の視点と隣接する視点にのみ切り替えを行う。隣接切り替えモデルはヘッドトラッキングやマウス、タッチパネル、ジョイスティックなどの入力デバイスを用いた自由視点テレビ、セキュリティモニタリングなどで想定されるモデルである。

映像配信の観点では、Hypertext Transfer Protocol (HTTP) を利用したプログレッシブダウンロード [5], [6], [7] がシングルビュービデオに対して広く用いられている。プログレッシブダウンロードでは、ユーザ端末は映像を再生しながら、数秒先の映像データをバッファリングする。マ

ルチビュービデオをプログレッシブダウンロードで単純に配信する方法として、要求応答とサイマルキャストが考えられる。図1 (a), (b) に、要求応答とサイマルキャストの概要図を示す。要求応答では、ユーザは視聴中の視点映像のみをバッファリングするため、視点映像の取得に要するトラヒックを抑えることができる。一方で、ユーザが視点を切り替える場合、切り替え先の視点映像を新たに受信する必要があるため、視点映像の受信が完了するまでの間は映像再生が停止する。サイマルキャストでは、ユーザが全ての視点映像をバッファリングする。ユーザは切り替え先となりうる全ての視点映像を受信するため、切り替えによって生じる再生停止を抑制することができる。しかしながら、送信する視点映像数が増加するため、トラヒックが急増する。高トラヒックは、ある伝送速度下における達成可能な映像品質の低下やバッファリング済みの映像データの不足による再生停止を招く。

トラヒックの削減と映像再生の停止を抑制するために、ストリーミングを前提としたUDMVT [8], IMVS [9], [10], [11], [12] が隣接視点切り替えモデルに対して提案されている。両方式は、数フレーム分の各視点映像のエンコードおよび配信ごとに、ユーザからのフィードバック情報を利用する。サーバはフィードバック情報に基づき、

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科

ユーザが利用する可能性の高い視点映像を予測・エンコードして送信する。ユーザが利用する可能性の高い視点映像のみを送信するため、トラヒックの削減と再生停止発生回数の抑制を達成できる。一方で、プログレッシブダウンロードでは、ユーザはある視点映像を再生しながら、利用可能な全帯域を用いて、数秒先（数十フレーム分）の各視点映像までバッファリングする。このようなバッファリング処理に対して、再生時点におけるフィードバック情報を用いた場合、予測誤差の増加を招く。誤差の増加は、冗長な視点映像の伝送によるトラヒック増加や、送信視点映像の不足による再生停止の発生をもたらす。プログレッシブダウンロード環境下で低トラヒックおよび再生停止発生回数の抑制を達成するためには、ストリーミングにおける単純なフィードバック情報で予測できない広範囲を対象とした視点映像の選択的取得手法が必要となる。

本稿では、プログレッシブダウンロードを前提としたマルチビュービデオ配信における2つの要件であるトラヒックの削減と再生停止の抑制を達成するために、新たなマルチビュービデオ配信方式を提案する。提案方式では、現在視聴中の視点映像と、その隣接した左右の視点映像をユーザが視聴する可能性の高い視点映像としてバッファリングする。映像再生中にユーザが視聴視点を切り替えた場合は、切り替え先の視点に応じてバッファリングする視点映像を変更する。また、ネットワークの伝送速度が低い場合に生じる再生停止の発生を抑制するために、ユーザの視聴傾向に応じて、各視点映像のバッファリング順序を制御するアルゴリズム switching-based scheduling (SBS) を提案する。複数の実マルチビュービデオテストシーケンスを利用した性能評価から、提案方式が既存方式と比較して、トラヒックの削減と再生停止発生抑制を同時に達成することを明らかにした。

2. 関連研究

提案手法は既存のプログレッシブダウンロード環境におけるマルチビュービデオ配信方式と、隣接切り替えモデルを対象としたマルチビュービデオ配信方式に関連する。

2.1 プログレッシブダウンロード環境におけるマルチビュービデオ配信方式

文献 [13], [14], [15] では、プログレッシブダウンロード環境におけるマルチビュービデオ配信システムが提案されている。文献 [13], [14] では、MPEG-DASH をベースとしたマルチビュービデオ配信のためのアーキテクチャを提案している。文献 [15] では、3D テレビに適応可能なマルチビュービデオのためのアーキテクチャを提案している。しかしながら、既存の方式は要求応答型に基づいているため、ユーザが視聴中の視点映像を切り替えた場合、新たな視点映像をダウンロードすることによる再生停止が発生する。

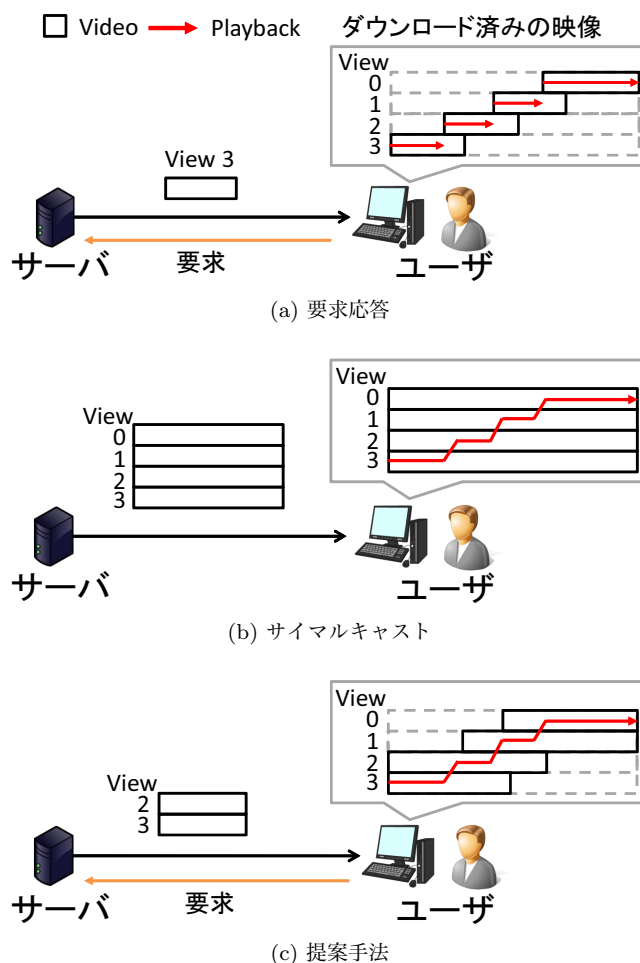


図 1: 既存手法および提案手法の概要図

提案手法では、ビデオトラヒックの削減と再生停止の抑制を同時に達成するために、各視点映像の中で再生される可能性の高い視点映像のみを送信する。

2.2 隣接切り替えモデルを対象としたマルチビュービデオ配信方式

隣接切り替えモデル [8] を考慮して、再生停止の抑制を達成する手法として UDMVT [8] や IMVS [9], [10], [11], [12] が提案されている。これらの方式では、周期的なフィードバック情報を元にして、ユーザが視聴する可能性の高いビデオフレームのみをサーバが配信する。図 2 に UDMVT におけるビデオフレームの伝送例を示す。ここで、 k [view/frame] はユーザの視点切り替え速度と映像のフレームレートに基づく視点切り替え頻度を表す。例えば、 k が小さい場合は、ユーザが頻繁に視聴視点を切り替えていることを表している。このとき、ユーザによって視聴される可能性が高い視点の範囲が大きくなるため、サーバはより多くのビデオフレームを送信する。

提案手法はこれらの手法をバッファリングを活用するプログレッシブダウンロード環境に拡張したものである。プログレッシブダウンロード環境に拡張するために、提案手

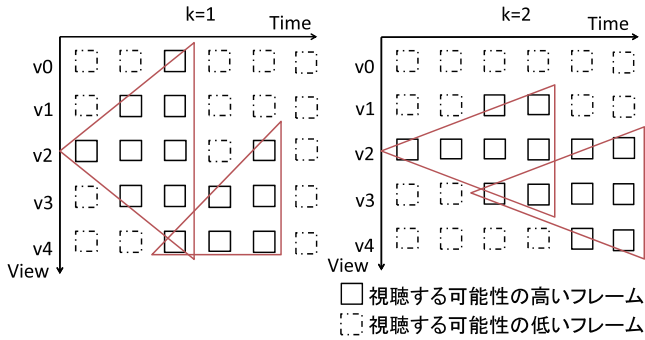


図 2: UDMVT の予測による視点切り替え範囲

法では現在のユーザの視聴視点に基づくバッファリング方法を提案するとともに、ネットワークが低い伝送速度であるときに対処したスケジューリングアルゴリズム SBS を提案することで、ビデオトラヒックの削減と再生停止の抑制を同時に達成する。

3. 提案手法

3.1 想定モデル

本研究では、ビデオトラヒックの削減と再生中に生じる停止の抑制を目的とする。図 3 に、本研究で想定するシステムモデルを示す。サーバは各視点映像を 1 Group of Pictures (GoP) ごとにエンコードするとともに、対応する一意の uniform resource locator (URL) を割り当てる。各エンコード後の映像と URL の組み合わせをセグメントと呼ぶ。ユーザは視聴したい視点のセグメントに対応する URL に HTTP リクエストを送ることで、ネットワークを介してセグメントの視聴およびバッファリングが可能となる。また、ユーザはセグメント単位で視聴中の視点から隣接する視点に切り替えるものとする。

図 4 に提案手法の配信システムの概要を示す。サーバは各視点の映像をセグメント単位で保持する。各セグメントの URL は、サーバが管理するリストファイルにまとめられる。受信側は、まずリストファイルをサーバから受信する。その後、リストファイルに記述された URL を元に、ユーザは必要なセグメントをダウンロードしながらメディアプレイヤー上で逐次再生する。スケジューラはメディアプレイヤーから通知される視聴視点に応じて、視聴される可能性が高いセグメントに対してダウンロードする順序を決定する。ダウンロード順序が早いセグメントを取得するために、受信側は HTTP アクセスモジュールを通して、対応する URL に HTTP リクエストを送信する。

3.2 セグメント取得

ユーザは視聴中の視点とその左右の視点のセグメントをバッファリングすることで、視点切り替え時の再生停止を抑制する。このとき、バッファリングするセグメント群を potential segments と呼ぶ。例えば、視点 i_0 、時刻 j_0 を視

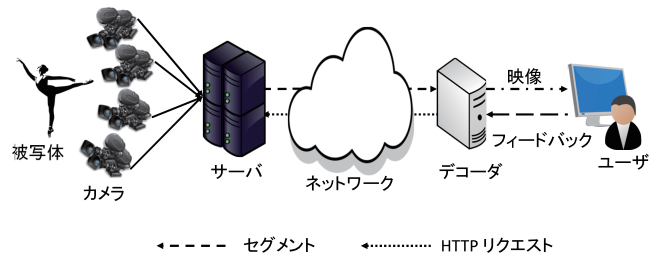


図 3: 提案手法の想定モデル

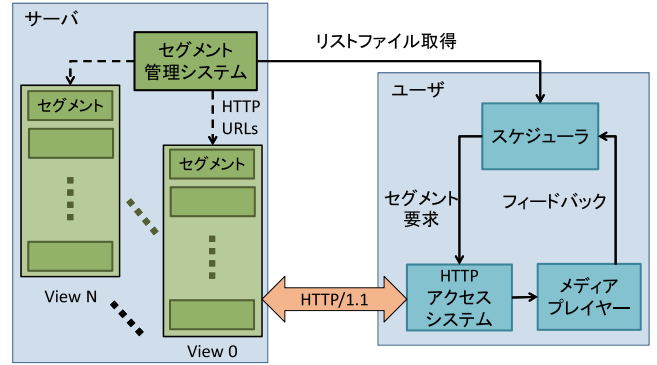


図 4: 提案手法における配信システムの概要図

聴中の場合における potential segments $P(i_0, j_0)$ に含まれるセグメント $F_{i',j'}$ は次式で表される。

$$i' \in [\max(0, i_0 - 1), \min(i_0 + 1, N_{\text{view}})] \quad (1)$$

$$j' \in \begin{cases} [j_0, j_0 + L] & i = i_0 \\ [j_0 + 1, j_0 + L] & i \neq i_0 \end{cases} \quad (2)$$

ここで、 N_{view} はコンテンツの視点数であり、 L は各視点映像に対するバッファリング量である。また、potential segments 以外のセグメントは redundant segments とする。この redundant segments はユーザが視聴する可能性の低いセグメントであるため、リクエストを行わないものとする。

図 5 に potential segments と redundant segments の例を示す。ユーザは視聴開始時に視点 2 を見ているため、視点 1、視点 2、視点 3 が potential segments となる。このとき、ユーザは視点 1、視点 2、視点 3 のセグメントをバッファリングする。また、ユーザが 3 セグメント目に視点 2 から視点 3 に切り替えた場合、新たに視点 2、視点 3、視点 4 が potential segments となるため、ユーザは視点 2、視点 3、視点 4 のセグメントをバッファリングする。このとき、視点 2、視点 3 のセグメントはすでに 4 セグメント目までバッファリング済みであるため、まずは視点 4 の 4 セグメント目のバッファリングを開始する。その後、視点 2、視点 3、視点 4 の 5 セグメント目からバッファリングを開始する。

3.3 セグメントスケジューリング

バッファリング時におけるネットワークの伝送速度が

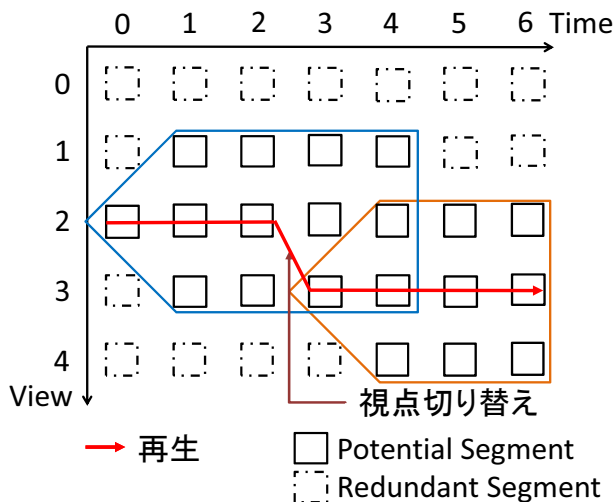


図 5: potential segments と redundant segments の構成例

十分に大きい場合、ユーザは十分な potential segments をバッファリングできるため、視点切り替え後の再生停止を抑制できる。しかしながら、ネットワークの伝送速度は、輻輳などによって低下する場合がある。このとき、バッファリング速度が映像再生速度に対して遅くなると、バッファ内の受信済みセグメントの不足による再生停止を招く。受信済みセグメントの不足を軽減するためには、ユーザの視聴傾向に応じてセグメントのバッファリング順序を制御する必要がある。

本稿では、ユーザが頻繁に視聴視点を切り替える場面に対処したスケジューリングアルゴリズム switching-based scheduling (SBS) を提案する。SBS では、隣接ビューのセグメントから優先的にバッファリングすることによって、視点切り替え後の再生停止を抑制する。一方で、同じ視点を注視しているユーザに対しては、視聴中の視点のセグメントが枯渇しやすくなるため、再生停止が発生する可能性が高まる。

Algorithm 1 に SBS のアルゴリズムを示す。SBS は、ユーザが視聴視点を切り替えるたびに実行する。ここで、 U は HTTP リクエスト送信済みセグメントの集合、 D はバッファ済みセグメントの集合である。また、 $S_{x,y}$ は、視点 x の y 番目のセグメントを表している。SBS では、まず、スケジューリング開始点に近い potential segments に焦点を当てる。その後、視聴視点、隣接視点の順に、対象となるセグメントが U または D に含まれているか確認する。セグメントが U および D に含まれていない場合は、セグメントを要求する HTTP リクエストをサーバに送信するとともに、 U にセグメント番号を追加する。ある時刻におけるセグメントへの確認が終わった後は、次時刻のセグメント群に対して同様の処理を適用する。

図 6 (a) は $L = 4$ のとき、視点 2 を視聴中のユーザに対して SBS を適用した場合のスケジューリング、図 6 (b) はダウンロード済みセグメントがある場合のスケジューリン

Algorithm 1 Switching-Based Scheduling (SBS)

```

Require:  $D, L, i_0, j_0$ 
Ensure:  $U$ 
1:  $order = 1$ 
2: for  $b = 1$  to  $L$  do
3:   for each  $a$  in  $\{0, -1, 1\}$  do
4:     if  $S_{i_0+a, j_0+b} \notin U$  and  $S_{i_0+a, j_0+b} \notin D$  then
5:       Assign  $order$  for  $S_{i_0+a, j_0+b}$ 
6:       Add  $S_{i_0+a, j_0+b}$  to  $U$ 
7:       Increment  $order$ 
8:     end if
9:   end for
10: end for

```

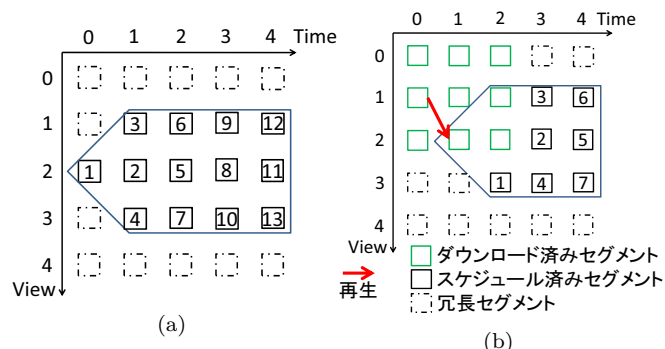


図 6: SBS のスケジューリング例 (a) ダウンロード済みセグメントなし (b) ダウンロード済みセグメントあり

グ例を示している。セグメント 1 で視点 2 に切り替えたユーザは、視点 1、視点 2 のすでにダウンロードしたセグメントを除く potential segments に対してスケジューリング順序を割り当てる。

4. 性能評価

4.1 評価環境

提案方式の有効性を確認するために、オープンソースのマルチビュービデオエンコーダである Joint Multi-view Video Coding (JMVC) [17] を用いた計算機シミュレーションと Mitsubishi Electric Research Laboratories [16] が提供しているマルチビューテストビデオシーケンスを用いて視点切り替え回数に対するトラフィック量、視点切り替え回数に対する再生停止発生回数、視点切り替え回数に対する再生停止時間、異なるビデオシーケンスを利用した場合の再生停止発生回数を測定した。提案方式の性能を相対的に評価するために、既存方式である要求応答 (request and response)、サイマルキャストと比較した。要求応答は視聴中の視点映像のみをバッファリングする方式である。サイマルキャストは全視点映像をバッファリングする方式である。

テストビデオシーケンスには、Ballroom, Exit, Vassar を利用した。Ballroom は舞踏会の様子を撮影した映像であり、全ビデオシーケンスの中で最も動きが激しい。Exit

表 1: JMVC エンコーダの入力パラメータ

解像度	176×144 pixel
フレームレート	25 fps
フレーム数	250
GoP サイズ	10 フレーム
カメラ台数	8 台
量子化パラメータ	25

は出入り口の様子を撮影した映像であり、Ballroom より被写体の動きが少ない。Vassar は車の行き交いが少ない道路を撮影した映像であり、全ビデオシーケンスの中で最も動きが少ない。

表 1 に JMVC エンコーダのパラメータを示す。フレームレートは 25 fps、各テストビデオシーケンスのフレーム数は 250 フレームである。1GoP あたりのフレーム数は 10 フレームとし、各 GoP の先頭フレームを I フレーム、残りの 9 フレームを直前のフレームを参照する P フレームとしてエンコードした。また、量子化パラメータは 25 とする。このとき、Ballroom の 1 セグメントあたりの平均サイズは 0.03 MB である。

ユーザは全視点のうち、視点 1 を視聴開始視点として選択する。ユーザによる視点切り替えは、現在視聴中の視点の隣接視点に対してのみ行われる。このとき、視点切り替えはセグメント単位で発生するものとし、そのタイミングは全セグメントから一様分布でランダムに決定する。また、視点の切り替え方向は単一方向のみとする。例えば、ユーザが視点 1 から視聴を開始した後、視点 8 に向けて視聴視点を切り替える。視点 8 に到達した後は、折り返して視点 1 に向けて視聴視点を切り替える。

本評価では、ユーザはネットワークを介して、ある伝送速度でサーバからセグメントをバッファリングする。ここで、バッファリング後の各セグメントに誤りは存在しないものとする。また、ユーザがバッファに存在しないセグメントを再生しようとした場合、各視点のセグメントが 6 セグメント分バッファリングされるまで再生停止が発生する。

4.2 視点切り替え回数に対するトラヒック量の評価

提案方式の基本性能を評価するために、映像再生終了時までに生じる視点切り替え回数を変化させた場合のトラヒック量を評価した。図 7 に、利用したビデオシーケンスが Ballroom、伝送速度が 1.8Mbps、ユーザによる視点切り替え回数を 1 回から 8 回に変えた場合の各手法のビデオトラヒックを示す。横軸は視点切り替え回数、縦軸は伝送したセグメントの合計データサイズである。図 7 より、次の 3 つのことが分かる。

1 つ目は、視点切り替え回数が 8 回のとき、提案方式のビデオトラヒックが最も低くなることである。具体的には、提案手法はサイマルキャストと比較して約 54.9% のビ

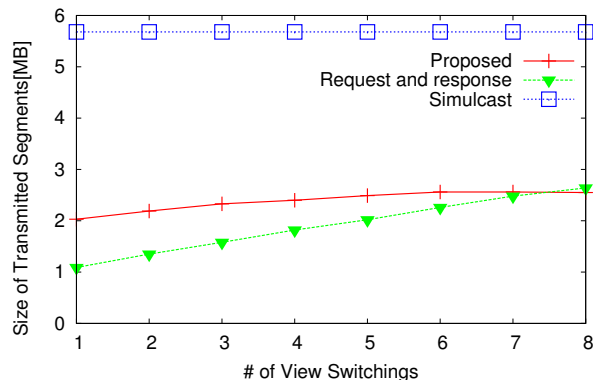


図 7: 視点切り替え回数に対するビデオトラヒック

デオトラヒックを削減している。

2 つ目は、視点切り替え回数が増加するにつれて要求応答のビデオトラヒックが増加することである。

3 つ目は、視点切り替え回数に関係なく、サイマルキャストが最も大きいビデオトラヒックを有することである。サイマルキャストでは、各ユーザは全視点映像をダウンロードするため、視点切り替え回数に関係なく、高いトラヒックを達成する。

4.3 視点切り替え回数および伝送速度に対する再生停止発生回数の評価

映像再生中に生じる頻繁な再生停止は、ユーザ体感品質の低下をもたらす。再生停止が生じる要因は、主に、視点を切り替えた際に、切り替え先の視点のセグメントがバッファリングされていない場合と、ネットワークの伝送速度が映像再生速度を下回ることによって再生可能なセグメントが枯渇する場合に分けられる。本節では、各手法におけるユーザ体感品質を評価するために、映像再生終了時までに生じる再生停止発生回数を比較した。

まず、ユーザによる視点切り替え頻度がユーザ体感品質にもたらす影響を評価するため、視点切り替え回数を変化させた場合における各手法で生じる再生停止発生回数を評価した。図 8 に、ビデオシーケンスが Ballroom、伝送速度が 1.8Mbps、ユーザによる視点切り替え回数を 1 回から 8 回に変えた場合に生じる再生停止発生回数を示す。図 8 より、次の 3 つのことが分かる。

1 つ目は、提案手法はユーザが頻りに視点を切り替える場合でも再生停止を抑制できていることである。提案手法では、potential segments のみをバッファリングすることで視点切り替えによる再生停止、伝送速度の不足時に生じる再生停止の両方を抑制する。例えば、ユーザによる視点切り替え回数が 8 回のとき、要求応答と比較して再生停止発生回数を 86.0% 削減している。

2 つ目は、ユーザによる視点切り替え回数が増加するたびに、要求応答で生じる再生停止発生回数も増加すること

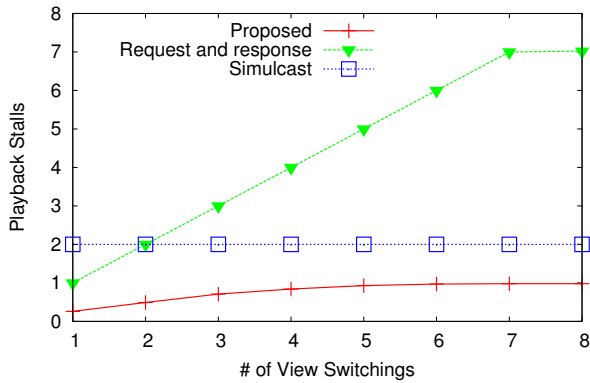


図 8: 視点切り替え回数に対する再生停止発生回数

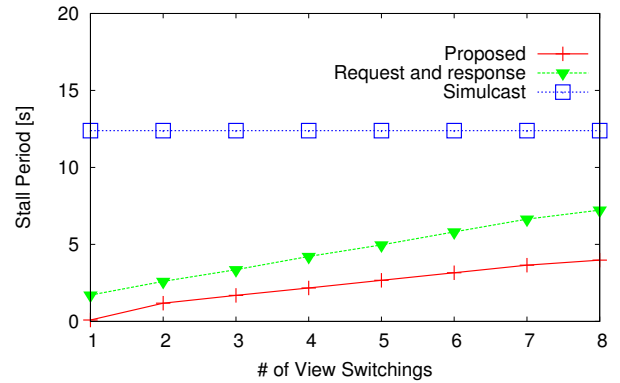


図 10: 視点切り替え回数に対する再生停止期間

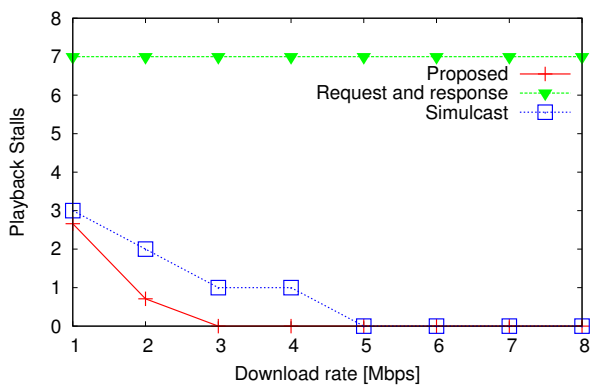


図 9: ネットワークの伝送速度に対する再生停止発生回数

である。要求応答は、視聴中の視点のみをバッファリングするため、ユーザが新たな視点に切り替えるたびに再生停止が生じる。

3つ目は、サイマルキャストの再生停止発生回数が一定となっていることである。サイマルキャストは、全てのセグメントをバッファリングするため、伝送速度の不足によるバッファの枯渇が頻繁に発生する。

次に、ネットワークの伝送速度が各手法のユーザ体感品質にもたらす影響を評価するため、伝送速度を変化させた場合の再生停止発生回数を評価した。図9に、ビデオシーケンスが Ballroom、視点切り替え回数が7回、伝送速度を1Mbps から8Mbps に変えた場合に生じる再生停止発生回数を示す。図9より、提案手法およびサイマルキャストは伝送速度が大きくなるに従って再生停止発生回数が減少する一方で、要求応答の再生停止発生回数は変化しないことがわかる。要求応答は伝送速度に関係なく、視聴中の視点のみをダウンロードするため、一定の再生停止発生回数が生じていると考えられる。

4.4 視点切り替え回数に対する再生停止時間の評価

4.3節の評価から、提案手法は頻繁な再生停止を抑制できることを示した。しかしながら、映像視聴では再生が停

止する頻度だけでなく、その期間もユーザの体感品質に大きな影響を与える。本節では、ユーザによる視点切り替え回数を変化させた場合の再生停止期間について評価した。ここで、再生停止期間とは1つのビデオシーケンスを視聴する間に生じた再生停止時において、新たなセグメントのバッファリングに要した時間の合計である。

図10に、ビデオシーケンスが Ballroom、伝送速度が1.8Mbps、ユーザによる視点切り替え回数を1回から8回に変えた場合の再生停止期間を示す。図10より、提案手法における再生停止期間が最も短くなるのが分かる。例えば、再生停止発生回数が8回するとき、提案手法はサイマルキャストと比較して67.9%、要求応答と比較して45.0%の再生停止期間を削減する。提案手法の再生停止期間が減少した理由として、図7から図9に示した通り、提案手法は再生中に生じる停止発生回数を抑制するとともに、再生停止時には短い停止期間をもたらす potential segments のみを送信するためだと考えられる。

4.5 異なるビデオシーケンスを利用した場合の再生停止発生回数の評価

4.3節で Ballroom を利用した場合の評価を行った。しかしながら、提案手法の効果は撮影対象によって異なると考えられる。このような観点から、ビデオシーケンスを変えた場合の再生停止発生回数を評価した。図11にビデオシーケンスが Exit と Vassar、伝送速度が1.8Mbps、ユーザによる視点切り替え回数を1回から8回に変えた場合の再生停止発生回数を示す。図11より、被写体に関係なく、提案手法が再生停止発生回数を抑制できていることがわかる。また、提案方式の再生停止発生回数は、図8で示した Ballroom を用いた場合と比較して小さくなっていることが分かる。Exit と Vassar の各セグメントサイズは Ballroom よりも小さくなるため、同じ伝送速度下において、より多くの potential segments をバッファリングすることができるためだと考えられる。

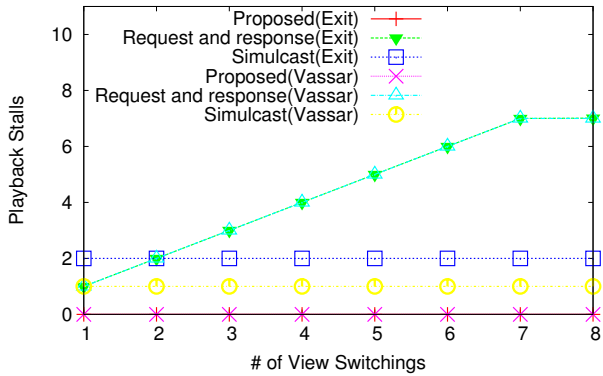


図 11: Exit と Vassar を用いた場合の再生停止発生回数

5. 結論

本稿では、プログレッシブダウンロード環境における低トラフィック、スムーズな映像再生を達成する新たなマルチビュービデオ配信方式を提案した。提案方式では、トラフィックの削減と映像再生中の停止を抑制するために、ユーザの視聴視点から得られる potential segments のみをバッファリングする。また、ネットワークの伝送速度の変化に対応しながら再生停止の発生を抑制するために、potential segments 内のバッファリング順序を決定するスケジューリングアルゴリズム SBS を提案した。性能評価から、提案方式は既存のマルチビュービデオ配信方式と比較して、トラフィックの削減と再生停止発生回数および再生停止期間の軽減を達成したことを明らかにした。例えば、提案方式はサイマルキャストに比べて 54.9% のビデオトラフィックを削減している。また、要求応答方式に比べて再生停止発生回数を 86.0% 減少することが分かった。

今後の課題は、実際の配信環境に近い状況での比較評価である。具体的には、高解像度・数十視点をもつマルチビュービデオシーケンスを用いた評価や、映像データの伝送時にロスや誤りが生じるネットワークを想定して評価を行う予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K12018 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] B. Zhang, Z. Liu, S. H. Gary Chan, and G. Cheung, "Collaborative Wireless Freeview Video Streaming With Network Coding," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 18, no. 3, pp. 521–536, 2016.
- [2] M. Tanimoto, "Overview of FTV (free-viewpoint television)," in Proc. of *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1552–1553, 2009.
- [3] M. Ueberheide, F. Klose, T. Varisetty, M. Fidler,

- and M. Magnor, "Web-based Interactive Free-Viewpoint Streaming: A framework for high quality interactive free viewpoint navigation," in Proc. of *ACM Multimedia*, pp. 1031–1034, 2015.
- [4] J. Arai and T. Ito, "Research on 3DTV at NHK STRL," in Proc. of *SMPTE Int. Conf. on Stereoscopic 3D for Media and Entertainment*, pp. 1–16, July 2010.
- [5] T. Stockhammer, "Dynamic adaptive streaming over HTTP –: standards and design principles," in Proc. of *ACM MMSys*, pp. 133–144, 2011.
- [6] F. Wamser, P. Casas, M. Seufert, C. Moldovan, P. Truong, and T. Hossfeld, "Modeling the YouTube stack: From packets to quality of experience," *Computer Networks*, pp. 1–14, 2016.
- [7] M. N. Garcia, D. Dytko, and A. Raake, "Quality impact due to initial loading, stalling, and video bitrate in progressive download video services," in Proc. of *International Workshop on Quality of Multimedia Experience*, pp. 129–134, 2014.
- [8] Z. Pan, Y. Ikuta, M. Bandai, and T. Watanabe, "User dependent scheme for multi-view video transmission," in Proc. of *IEEE ICC*, pp. 1–5, 2011.
- [9] L. Toni, G. Cheung, and P. Frossard, "In-Network View Synthesis for Interactive Multiview Video Systems," Special Issue on "Cloud-based Video Processing and Content Sharing" in *IEEE Trans. Multimedia*, 2016.
- [10] D. Ren, S. H. Gary Chan, G. Cheung, and P. Frossard, "Coding Structure and Replication Optimization for Interactive Multiview Video Streaming," *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 16, no. 7, pp. 1874–1887, 2014.
- [11] G. Cheung, A. Ortega, and N. M. Cheung, "Interactive streaming of stored multiview video using redundant frame structures," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 20, no. 3, pp. 744–761, 2011.
- [12] Z. Liu, G. Cheung, and Y. Ji, "Unified distributed source coding frames for interactive multiview video streaming," in Proc. of *IEEE ICC*, pp. 2048–2053, 2012.
- [13] H. Zhang, A. Al-Nuaimi, X. Gu, M. Fahrmaier, and R. Ishibashi, "Seamless and efficient stream switching of multi-perspective videos," in Proc. of *International Packet Video Workshop*, pp. 31–36, 2012.
- [14] T. Nunome and H. Tani, "Multi-View Video and Audio Transmission with MPEG-DASH and Its QoE," in Proc. of *Asia-Pacific Conference on Communications* pp. 575–579, 2015.
- [15] T. Su, A. Javadtalab, A. Yassine, and S. Shirmohammadi, "A DASH-based 3D multi-view video rate control system," in Proc. of *International Conference on Signal Processing and Communication Systems*, pp. 1–6, 2014.
- [16] A. Vetro, M. McGuire, W. Matusik, A. Behrens, J. Lee and H. Pfister, *Multiview Video Test Sequences from MERL*, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, 2005.
- [17] Joint Video Team of ITU-T VCEG and ISO/IEC MPEG, *JMVC (Joint Multiview Video Coding) Software*, 2008.