

マルチビューストリーミングに向けた無線再送制御方式

小寺志保[†] 藤橋卓也[‡] 猿渡俊介[†] 渡辺尚[‡]
[†] 静岡大学 [‡] 大阪大学

1 はじめに

マルチビュービデオは、映像に臨場感を与える映像技術の1つである。無線通信を用いたマルチビュービデオストリーミングの実現は、小型撮影機器で撮影した映像をマルチビュービデオとして利用することを可能にする。例えば、医師や看護師が身に付けたウェアラブルデバイスで撮影した映像を複数組み合わせることで、立体的に治療の様子を表示することができ、遠隔地からの治療支援が実現できる。

本稿では、無線通信を用いたマルチビュービデオストリーミングにおいて、低トラヒックかつ高映像品質を実現する伝送方式として Retransmission Domino Streaming (Re Domino Streaming) を提案する。具体的には、無線通信における他の映像の傍受と、撮影機器間の時空間相関を用いたエンコードにより、大幅なトラヒック削減を達成する。また、ビデオフレームが損失した場合は、デコードに必要なビデオフレームのみを再送させることで、再送によるトラヒックの増加を抑制する。

2 要件

マルチビュービデオストリーミングは、複数台の撮影機器を対象物を撮影する撮影部、撮影した映像をエンコードし、ネットワークを通じて転送する転送部、立体映像や自由視点映像を表示する表示部から構成される。本稿では、マルチビュービデオストリーミングの撮影部を無線化するものを考える。図1に本稿で提案するマルチビュービデオストリーミングの撮影部を示す。各撮影機器は、無線通信を利用してアクセスポイントに対して映像を送信する。アクセスポイントは、有線通信を利用して撮影機器からの映像をエンコードに対して伝送する。撮影部を無線化することで、幅広い分野の映像をマルチビュービデオとして提供することが可能となる。

マルチビュービデオストリーミングの撮影部を無線化する場合、視聴者に高い映像品質の映像を途切れることなく伝送する必要がある。そのために次の3つの要件を同時に満たす必要がある。

1つ目の要件は、トラヒックを少なくすることで伝送遅延による視聴者満足度の低下を防ぐことである。単純にマルチビュービデオを無線通信で伝送した場合、有線通信と比較して通信速度は遅いため、映像を撮影してから視聴者に対して映像を届けるまでの遅延が大きくなり、視聴者満足度が低下する。

2つ目の要件は、映像品質を高く維持することである。映像品質とは、元の映像とデコードした映像との劣化の度合いを表す。視聴者は、実際の被写体と同等の映像を求めた

め、映像品質の低下は視聴者満足度の低下を招く。

3つ目の要件は、ビデオフレームの損失によるデコードへの影響を最小限にすることである。無線通信は有線通信と比較してビデオフレームの損失が発生しやすい。一方で、本稿で利用する H.264/AVC[1] による映像のエンコードでは、各ビデオフレームは時間的に連続する他のビデオフレームを参照して差分を取るため、1つのビデオフレームが損失すると、損失したビデオフレームを参照していた他のビデオフレームがデコードできなくなる。映像がデコードできなければ視聴者は映像を視聴できないため、視聴者満足度が低下する。

各撮影機器のビデオフレームが損失した場合の再送手法として、損失が発生した撮影機器の全てのビデオフレームを再送する手法が挙げられる。全てのビデオフレームを再送するため、視聴者は全ての撮影機器の映像を損失なくデコードできるが、再送によってトラヒックが急増する。また、損失が発生したことを判断するために、ACKのタイムアウト時間まで各撮影機器は伝送を待機するため、伝送遅延が増加する。図3に各撮影機器の全てのビデオフレームを再送する手法のタイムシーケンスチャートを示す。撮影機器1のビデオフレームが損失した場合、各撮影機器はACKのタイムアウト時間まで伝送を待機するため、再送を開始するまでの遅延時間が長くなる。また、1回再送することでトラヒックが倍増する。

3 Re Domino Streaming

本稿では、撮影部の無線化を実現する方式として、Re Domino Streaming を提案する。Re Domino Streaming は通常の映像伝送と再送制御の2つから構成され、トラヒックの削減と映像品質の維持、フレームが損失した場合のデコードの成功を同時に実現する。

3.1 映像伝送

Re Domino Streaming の映像伝送は、初期化、伝送順決定、エンコード、映像伝送、デコードで構成される。

Re Domino Streaming に参加する撮影機器は、アクセスポイントの通信範囲内に入ると初期化を開始し、アクセスポイントによってIDが割り当てられる。各撮影機器は初期化を開始すると、自身の映像の特徴量を、ビデオフレームの画素値を元に算出する。特徴量を算出すると、各撮影機器は算出した特徴量をアクセスポイントに対して送信する。

各撮影機器の初期化が終了すると、アクセスポイントは初期化中に取得した各撮影機器の映像の特徴量から映像伝送順を決定する。映像伝送順を決定すると、アクセスポイントは

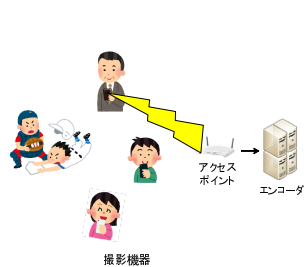


図1: 無線化した撮影部

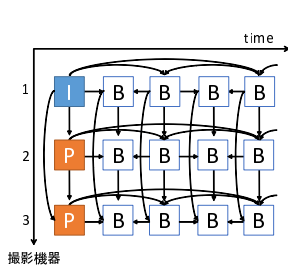


図2: エンコード予測構造

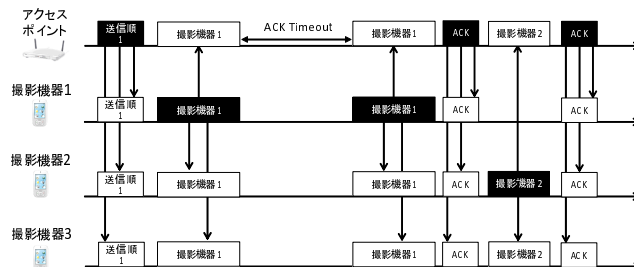


図3: 全ての撮影機器の映像を再送した場合

各撮影機器に決定した伝送順をブロードキャストする。

各撮影機器はアクセスポイントが決定した伝送順に従って、自身の映像をすでに傍受した他の撮影機器の映像を用いて一定量エンコードする。また、各撮影機器はアクセスポイントが決定した伝送順に従って、エンコードした自身の映像をアクセスポイントに対して伝送する。他の撮影機器は通信を傍受する。全ての撮影機器が映像を送信し終わると、アクセスポイントは再び各撮影機器の映像の特徴量に基づいて、映像伝送順序を決定する。各撮影機器とアクセスポイントから映像を受信しているエンコーダは、新たに撮影機器の映像を受信するとデコードを開始する。

3.2 再送制御

Re Domino Streaming では、各撮影機器の先頭ビデオフレームのみの再送と NACK (Negative ACK) による通知を利用することで再送による伝送遅延の増加を抑制する。

まず、各撮影機器の映像のデコードに最も強い影響を与えるビデオフレームのみを再送することで、再送によるトラヒックの増加を抑制する。図 2 に映像伝送順が撮影機器 1, 2, 3 の場合の、各撮影機器のエンコード予測構造を示す。図 2 から、各撮影機器の先頭ビデオフレームがデコードに最も強い影響を与えることがわかる。Re Domino Streaming では、各撮影機器の先頭ビデオフレームのみを再送することで、トラヒックの増加を防ぎつつ、より多くのビデオフレームのデコードを可能にする。

次に、NACK による再送通知により、ACK のタイムアウトによる遅延を削減する。図 4 に映像伝送順が撮影機器 1, 2, 3 における、Re Domino Streaming のタイムシーケンスチャートを示す。撮影機器 1 の先頭ビデオフレームが損失し、1 回目の再送でデコードに成功すると仮定する。Re Domino Streaming では、映像はビデオフレームの集合である GOP (Group of Picture) ごとに伝送される。 $P_{i,j}$ は、撮影機器 i の GOP j のビデオフレームと映像特徴値から構成されるパケット、 R_i は、撮影機器 i の先頭ビデオフレームである。アクセスポイントは、全てのデコードに成功すると ACK フレームを返す。一方で、先頭ビデオフレームのデコードに失敗した場合は NACK フレームを返送する。NACK フレームは IEEE 802.11[2] の制御フレームフォーマットに従って生成する。Re Domino Streaming では、アクセスポイントがデコードに失敗した場合、サブタイプフィールドを 1010 と指定した NACK フレームを作成する。各撮影機器は ACK を受信した場合は次の撮影機器が映像伝送を開始し、NACK を受信した場合は、次の撮影機器が自身の映像情報に、すでに傍受した他の撮影機器の先頭フレームを付加して映像伝送を開始する。

4 性能評価

Re Domino Streaming の有効性を確認するために、Matlab 上に実装した計算機シミュレーションと MERL が提供

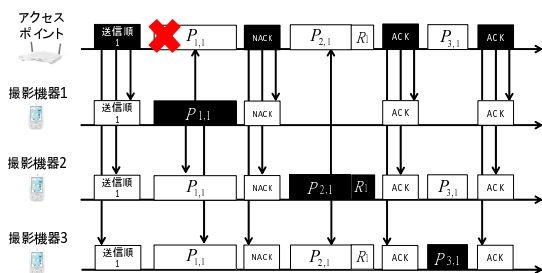


図 4: Re Domino Streaming

しているテストビデオシーケンス [3] によって、フレームエラーレートに対する映像品質と 1GOP あたりの映像ビットレートを測定した。評価では、8 台の撮影機器を用いた。各撮影機器の映像は 250 フレームで構成されている。提案手法である Re Domino Streaming と、再送制御を行わない Domino Streaming w/o retransmission, 1GOP 全体を再送する Domino Streaming w/ all retransmission を比較した。

図 5 にフレームエラーレートを 0% から 10% まで変化させた場合のフレームエラーレートに対する映像品質を示す。縦軸は映像品質を表す Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) [dB], 横軸はフレームエラーレート [%] である。各撮影機器の各ビデオフレームはフレームエラーレートに従ってランダムに損失する。図 5 から Re Domino Streaming が Domino Streaming w/o retransmission と比較して、高い映像品質を達成していることがわかる。Re Domino Streaming は各撮影機器の先頭ビデオフレームを再送しているため、全体の映像品質の向上を達成している。

図 6 に全ての撮影機器の先頭ビデオフレームが損失した場合の、各手法における 1GOP あたりの映像ビットレートを示す。縦軸は映像ビットレート [kbps] である。再送は 1 回で成功すると仮定する。図 6 から、Re Domino Streaming のトラヒックが Domino Streaming w/ all retransmission と比較して少なくなっていることがわかる。Re Domino Streaming は、デコードに必要なビデオフレームのみを再送させることで、再送によるトラヒックの急増を防ぐ。一方で Domino Streaming w/ all retransmission は、全てのビデオフレームを再送するためにトラヒックが急増する。

5 おわりに

本稿では、マルチビュービデオ撮影部の無線化を実現するための方式として、Re Domino Streaming を提案した。Re Domino Streaming は、オーバーヒアした他の撮影機器の映像をエンコードに利用することで、低トラヒックと映像品質の維持を実現する。ビデオフレームが損失した場合は、デコードに大きな影響を与える各撮影機器の先頭ビデオフレームのみを再送することで、再送によるトラヒックの急増を回避する。今後の課題として、より高い映像品質を達成する再送制御方式を検討する。

参考文献

- [1] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1: *Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 — ISO/IEC 14496-10 AVC)* (2003).
- [2] IEEE Computer Society: *IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* (2012).
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11: *Multiview Video Test Sequences from MERL* (2005).

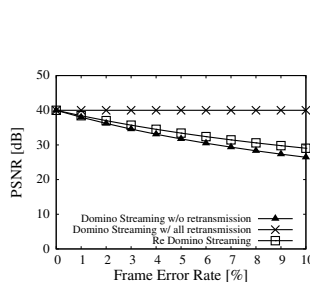


図 5: フレームエラーレートに対する PSNR

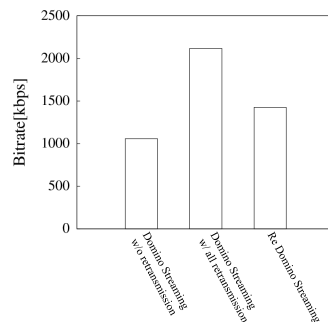


図 6: 1 GOP あたりのトラヒック