

複数の無線伝送路を活用した高品質映像伝送に関する一研究

藤橋 卓也¹ 大友 伊織² 遠藤 慶一¹ 廣田 悠介² 小林 真也¹ 渡辺 尚²

概要: Long Term Evolution (LTE) や Wi-Fi などの複数の無線伝送路を映像伝送に利用する技術は、近年、無線端末への高品質映像配信を実現する方法として注目を浴びている。これまでの研究では、複数の無線伝送路を映像の高品質化に利用するために、階層映像符号化技術を用いて映像情報を圧縮・伝送していた。しかしながら、無線端末の移動や電波伝搬環境の変化によって無線伝送路の品質が変動した場合、ビット誤りによる映像品質の急落、量子化による映像品質の一定化が生じる。本研究では、各無線端末が LTE および単一あるいは複数の Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信できるものとする。このとき、各無線端末が映像受信に利用可能な無線伝送路数に応じて映像品質を向上すること、無線伝送路品質の改善に対して比例的に映像品質を改善することを達成する伝送手法を提案する。提案手法では、デジタル映像符号化技術、圧縮センシング、ニアアナログ変調を利用する。デジタル映像符号化技術を用いて圧縮した映像情報は、多くの無線端末が受信可能な LTE を介して伝送することで、各無線端末に低品質映像を提供する。また、オリジナルの映像情報と圧縮後の映像情報から取得した残余情報に、圧縮センシング、ニアアナログ変調を利用して複数の Wi-Fi アクセスポイントから送信することで、伝送路品質の改善に繋がって映像品質を改善することができる。また、Wi-Fi アクセスポイントから一部の残余情報のみを受信できる時、圧縮センシングに基づく復元アルゴリズムを用いることで高品質化を達成することができる。性能評価から、Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信できる時、その伝送路品質に応じて映像品質を向上できることが分かった。また、無線端末が複数の Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信できる時、映像品質を 8.2 dB 改善できることを明らかにした。

1. 背景

近年、スマートフォンなどの無線端末の普及とともに、無線端末に対する映像配信への需要が急激に高まっている。2015年2月に CISCO が発表した資料によると、2019年にはインターネットトラフィックのうち、約72%がビデオトラフィックになると予想されている [1]。無線端末に高品質映像を提供するために、近年では、各無線端末がそれぞれの位置に応じて利用可能な複数の無線伝送路 (例えば、Long Term Evolution (LTE) や Wi-Fi, 可視光通信など) を映像配信に利用することで、高品質化を達成する研究 [2-4] が注目されている。

複数の無線伝送路を映像伝送に利用する場合、通常、H.264/Scalable Video Coding (SVC) に代表される階層符号化技術を利用する。H.264/SVC は映像情報を複数の品質に分割/圧縮した後、各無線伝送路を介して無線端末に送信する。しかしながら、利用する無線伝送路の品質がユーザの移動や電波伝搬環境の変化によって低下した場合、発生するビット誤りによって映像情報がデコードできなくな

る。その結果、映像品質が著しく低下するクリフ効果が生じる。一方で、無線伝送路の品質が復旧しても、受信映像の品質は一定のままである。これは、映像符号化時に失われた画素情報を受信側で取り戻すことができないことに起因する。

無線伝送路品質の低下による急激な映像品質の劣化を防ぐとともに、伝送路品質の改善に対して比例的に映像品質を改善するために、グレイスフル映像伝送 [5-8] が提案されている。本手法では、離散コサイン変換 (Discrete Cosine Transform: DCT) を用いて周波数成分に変換した画素情報を送信信号としてマッピングするニアアナログ変調を用いる。ニアアナログ変調によって、無線伝送路の品質に応じて受信映像品質を比例的に改善することができる。しかしながら、周波数成分を直接送信信号としてマッピングする伝送手法は、その成分内の最大値と最小値の差が大きくなるにつれて性能が低下することが分かっている [9]。通常、画素情報に対する DCT で得られる周波数成分の最大値と最小値の差は大きくなるため、グレイスフル映像伝送の性能は低下する。

そこで、デジタル映像符号化技術とグレイスフル映像伝送を組み合わせたハイブリッド映像伝送 [10-12] が近年

¹ 愛媛大学大学院理工学研究科

² 大阪大学大学院情報科学研究科

提案されている。ハイブリッド映像伝送はデジタルエンコーダとアナログエンコーダで構成される。デジタルエンコーダでは、まず 1 Group of Picture (GoP) 分のビデオフレームをデジタル映像符号化技術を用いてエンコードする。GoP とは、一度にエンコードされるビデオフレームの集合を表す単位であり、通常は 8 フレームから構成される。その後、エンコード後に得られるビット列をチャンネル符号化およびデジタル変調する。一方で、アナログエンコーダでは、デジタル映像符号化後に得られるビット列を一度デコードして、デコード後のビデオフレームを取得する。その後、オリジナルのビデオフレームとデコード後のビデオフレームとの間で生じた残余情報を取得する。残余情報に対しては、グレイスフル映像伝送と同様の処理が行われる。最後に、デジタルエンコーダから出力される変調後のシンボルとアナログエンコーダから出力される変調後のシンボルを重畳して受信側に伝送する。

ハイブリッド映像伝送では、デジタル映像符号化技術を用いることで低品質映像を無線端末に提供することができる。また、グレイスフル映像伝送を用いて送信する残余情報は、その最大値と最小値の差が小さくなるため、伝送路品質が改善するにつれて、より高い映像品質を達成することができる。しかしながら、これまでのハイブリッド映像伝送に関する研究は単一无線伝送路を利用する場合に留まっている。各無線端末が複数伝送路を利用できるとき、これらの伝送路を高品質化に活用するための議論は十分に行われていない。

本研究では、1) 各無線端末が映像情報を受信可能な無線伝送路数に応じて映像の高品質化を達成すること、2) 無線伝送路品質が悪化した場合に生じるクリフ効果を抑制すること、3) 無線伝送路品質の改善に対して、比例的に受信映像品質を改善することを目的とした新たな無線映像伝送手法を提案する。ここで、各無線端末が映像情報を受信可能な無線伝送路として、LTE および異なる周波数帯を利用する 2 種類の Wi-Fi を想定する。全ての無線端末は LTE から映像情報を受信できるものとする。また、無線端末の位置に応じて、周波数帯の異なる 2 種類の Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信可能な端末、一方の Wi-Fi アクセスポイントのみから映像情報を受信可能な端末、いずれの Wi-Fi アクセスポイントからも映像情報を受信できない端末がいるものとする。

上述の 3 課題を達成するために、提案手法ではデジタル映像符号化、ニアアナログ変調、圧縮センシング [13,14] を組み合わせて映像情報を伝送する。デジタル映像符号化は LTE を介した低品質映像の提供と Wi-Fi アクセスポイントによるグレイスフル映像伝送の高品質化を実現する。ニアアナログ変調は Wi-Fi アクセスポイントと各無線端末間の伝送路品質にしたがって映像品質を改善するために用いる。圧縮センシングとは、送信した情報の一部が欠落して

いるとき、受信側で取得した一部の情報から欠落した送信情報を復元できる技術である。帯域の不足や伝送中のデータ損失によって受信できなかった情報は、通常、受信側で復元することはできない。しかしながら、ある辞書 (離散コサイン変換や離散ウェーブレット変換) 上で送信情報がスパースとなるとき、すなわち、ほとんどのデータを 0 として表現できるとき、欠落した送信情報を復元することができる。提案手法では、圧縮センシングに基づく平滑化技術を利用することで、複数の Wi-Fi アクセスポイントによる受信映像の高品質化を実現するとともに、無線端末が Wi-Fi アクセスポイントを通して一部の映像情報のみを取得できるとき、欠落した情報を復元することで高品質化を達成する。

性能評価から、Wi-Fi アクセスポイントと無線端末間の伝送路品質に応じて、受信映像品質を向上できることを明らかにした。また、複数の Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信できるとき、提案手法は既存手法と比較して、より高い映像品質を達成できることが分かった。

2. 関連研究

本研究は、無線端末間での品質差異に対処した無線映像伝送、マルチパスを用いた高品質映像伝送に関する研究と関連する。

2.1 無線端末間での品質差異に対処した無線映像伝送

無線通信では、無線端末の位置や電波伝搬環境の変化に応じて、各端末が体感する伝送路品質が変化する。このとき、各無線端末に高品質映像を配信するためには、各無線端末に生じる伝送路品質の変化に対処した伝送手法が必要となる。このような伝送路品質の変化に対処するために、これまで階層変調 (Hierarchical Modulation: HM) と H.264/SVC を組み合わせた HM-SVC [15]、グレイスフル映像伝送 [5–8]、ハイブリッド映像伝送 [10,11,16] が提案されている。

HM-SVC では、H.264/SVC を用いてビデオフレームを複数のレイヤにエンコードした後、全てのレイヤ情報を階層変調を用いて一度にブロードキャスト伝送する。本手法は、各無線端末の伝送路品質に応じた映像品質を達成できる一方で、全無線端末の伝送路品質が既知であることが求められる。グレイスフル映像伝送では、H.264/SVC などを用いられる量子化、エントロピー符号化を利用せずに、画素値に対する離散コサイン変換で得られる周波数成分を送信信号とみなして伝送する。本手法では、各無線端末の伝送路品質が未知であるときに、その品質に応じた映像品質を達成できる。一方で、グレイスフル映像伝送で達成可能な受信映像品質は低くなることが報告されている [9]。ハイブリッド映像伝送は、グレイスフル映像伝送とデジタル映像符号化を組み合わせることで受信映像の高品質化を

達成する手法である。本手法では、まず、ビデオフレームをデジタル映像符号化を用いてエンコードする。エンコード後のビデオフレームは一旦デコードして、オリジナルのビデオフレームとの間で生じた差分情報を取得する。その後、エンコードしたビデオフレームは Binary Phase Shift Keying (BPSK) などの変調技術を用いて伝送するとともに、取得した差分情報はグレースフル映像伝送に基づいて送信する。受信側では、BPSK などを用いて伝送されたビデオフレームにグレースフル映像伝送を用いて伝送された差分情報を足すことで、デコード後のビデオフレームを取得する。

提案手法では、単一の無線伝送路を利用する既存のハイブリッド映像伝送のアイデアを、複数の無線伝送路を利用可能な環境下に拡張している。複数の無線伝送路を受信映像品質の高品質化に利用するために、提案手法ではベースとなる映像情報を LTE で送信する。その後、得られた残余情報を平滑化・パケット化して複数の Wi-Fi アクセスポイントから無線端末に伝送する。このとき、無線端末が Wi-Fi アクセスポイントから一部の残余情報しか受信できなかったとしても、圧縮センシングに基づく復元アルゴリズムを用いることで、より高い映像品質を達成することができる。

2.2 マルチパスを用いた高品質映像伝送手法

近年、受信映像の高品質化を達成するために、複数の異なる伝送路を利用して映像データを伝送する研究がなされている。既存研究では、主に Multiple Description Coding (MDC) を用いてビデオフレームを 2 種類にエンコードした後、2 つの伝送路にエンコード済みの映像データを送信する。また、ある伝送路で欠落した映像データは、他の伝送路から受信した映像データを用いて回復を試みる。文献 [2, 3] では、同程度の品質を有する 2 つの無線伝送路を映像伝送に利用することを想定している。また、文献 [4] では、各無線端末が Wi-Fi および LTE、文献 [17] では、携帯ネットワークおよび device-to-device (D2D) を映像伝送に利用可能である環境を想定している。

本研究では、LTE および複数の Wi-Fi アクセスポイントを映像配信に利用可能な場合に対処した映像伝送手法を提案している。提案手法では、デジタル映像符号化技術とニアアナログ変調を用いて映像データを大きく 2 種類に分割した後、LTE と Wi-Fi アクセスポイントからそれぞれを伝送する。このとき、分割した各映像データは、互いを補間するものではなく、一方のデータを強化するものである。これは将来、Wi-Fi を利用可能な無線端末は、そのほとんどが LTE を介して映像データを同時に受信できるといふ予測に起因する。

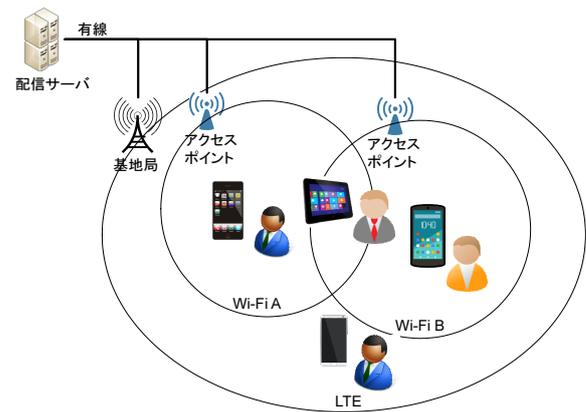


図 1: 提案方式における想定環境

3. 提案方式

本章では、LTE と複数の Wi-Fi アクセスポイントを利用可能な環境において、受信映像の高品質化を達成する映像伝送手法を提案する。まず、提案方式が想定するモデルについて説明する。その後、提案手法のエンコード方法／伝送方法／受信後の処理について説明する。

3.1 モデル

図 1 に、本研究における想定環境を示す。配信サーバから映像データを受信する LTE の基地局および Wi-Fi A, Wi-Fi B のアクセスポイントは互いに良質な回線で接続されているものとする。各無線端末は、位置に応じて LTE のみから映像情報を受信するか、Wi-Fi A と LTE から映像情報を受信するか、Wi-Fi B と LTE から映像情報を受信するか、Wi-Fi A, Wi-Fi B, LTE から映像情報を受信するか決定する。ここで、LTE の基地局、Wi-Fi A のアクセスポイント、Wi-Fi B のアクセスポイントから送信された信号は互いに干渉しないものとする。

LTE の基地局は、各無線端末に対して、データレート R で映像情報を送信する。Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントは、シンボルレート R_A, R_B にしたがって映像情報を各無線端末に送信する。このとき、各 Wi-Fi アクセスポイントから送信される信号は無線端末の位置や電波伝搬環境に応じて、伝送中に加法性白色ガウス雑音 (Additive White Gaussian Noise: AWGN) を受けるものとする。

3.2 エンコードおよびデコード

図 2 および図 3 に、提案手法におけるエンコーダおよびデコーダを示す。まず、配信サーバはビデオフレームを 1 GoP ごとにまとめる。1 GoP 分のビデオフレームは H.264/Advanced Video Coding (AVC) ビデオエンコーダ [18] を用いてエンコードする。このときに設定される映像符号化パラメータは、LTE のデータレート R にしたがう。その後、エンコード後に出力されたビット列に対し

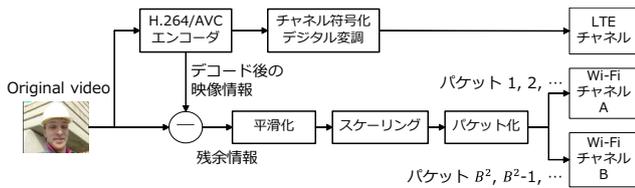


図 2: 提案方式：エンコーダ

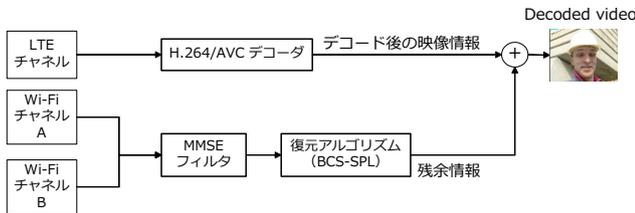


図 3: 提案方式：デコーダ

て、チャンネル符号化、変調をした後、LTE を介して各無線端末に伝送する。また、Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を送信するために、配信サーバでエンコードしたビデオフレームを H.264/AVC デコーダを用いて一旦デコードする。その後、オリジナルのビデオフレームとデコードしたビデオフレームを用いて残余情報を取得する。得られた残余情報は平滑化、スケーリング、アナログ変調がなされた後、Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントから送信される。

受信側では、LTE を介して受信した信号を復調/チャンネル復号化することで、受信後のビット列を取得する。その後、受信後のビット列に対して H.264/AVC デコーダを用いることで低品質映像を取得する。Wi-Fi アクセスポイントから受信した映像情報に対しては、Minimum Mean Square Error (MMSE) フィルタ、圧縮センシングに基づく復元アルゴリズムを利用することで、残余情報を取得する。最後に、低品質映像と残余情報を足し合わせることで、受信映像を取得する。

3.3 残余情報の平滑化

配信サーバは 1 GoP 内に含まれる残余情報^{*1}を複数の 2 次元ブロックに分割する。このとき、各ブロックのサイズを $B \times B$ ピクセルとする。各ブロックは長さ B^2 のベクトル \mathbf{r}_i に変換した後、サイズ $B^2 \times B^2$ の 2 次元測定行列 Φ を用いて以下のように平滑化する。

$$\mathbf{c}_i = \Phi \mathbf{r}_i, \quad (1)$$

ここで、測定行列 Φ に含まれる各要素は、標準正規分布に基づく独立かつ同一分布に従う確率変数である。提案手法では、全てのブロックに対して同一の測定行列 Φ を用いてブロック内の残余情報を平滑化する。

^{*1} 例えば、ビデオフレームの解像度が 640×480 ピクセルである場合、1 GoP 内の残余情報は $640 \times 480 \times 8 = 2.4M$ 個である

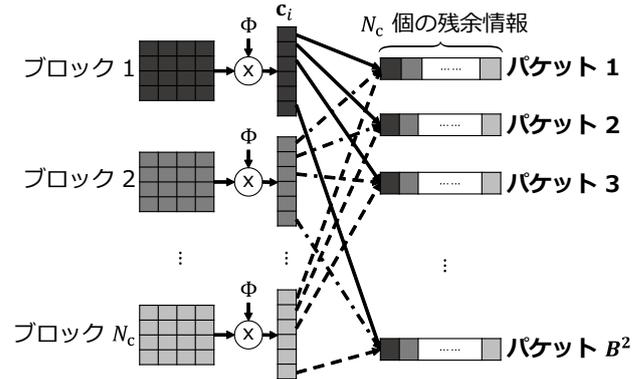


図 4: 残余情報のパケット化

平滑化した残余情報は図 4 に基づいて複数個のパケットを生成する。図 4 に示すように、平滑化後の各ベクトル \mathbf{c}_i から 1 要素ずつ残余情報を各パケットに含める理由は、各パケットが受信映像品質にもたらす影響を均一化するためである。パケット化を行った後、配信サーバは N_c 個の残余情報を含む B^2 個のパケットを生成する。このとき、Wi-Fi A のアクセスポイントはパケット 1 から昇順にパケットを送信する。一方で、Wi-Fi B のアクセスポイントはパケット B^2 から降順にパケットを送信する。

3.4 伝送

Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントは 3.3 節に基づいて生成したパケットを通信範囲に含まれる各無線端末に送信する。式 (2) に、提案手法における Wi-Fi アクセスポイントと各無線端末間の伝送路モデルを示す。ここで、 $x_{i,j}$ はパケット i に含まれる平滑化後の残余情報 j 、 P は Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントで利用可能な総電力量、 $y_{i,j}$ は受信信号である。また、 $n_{i,j}$ は伝送中に生じるノイズであり、平均 0、ノイズ分散 σ^2 の AWGN にしたがう。

$$y_{i,j} = \begin{cases} \sqrt{P}x_{i,j} + n_{i,j}, & \text{受信パケット,} \\ \emptyset, & \text{未受信パケット,} \end{cases} \quad (2)$$

3.5 残余情報のデコード

Wi-Fi A あるいは Wi-Fi B のアクセスポイントからパケットを受信可能な無線端末は、受信パケットから各ブロックの残余情報を取得する。その後、式 (3) に示す MMSE フィルタ [5] を用いることで、伝送中に生じたノイズの影響を低減する。このとき、未受信パケット ($y_{i,j} = \emptyset$) に含まれる残余情報に対してはフィルタを利用しない。

$$\hat{s}_{i,j} = \frac{\sqrt{P}\lambda_i^2}{\sqrt{P^2\lambda_i^2 + \sigma^2}} \cdot y_{i,j}. \quad (3)$$

ここで、 $\hat{s}_{i,j}$ はブロック i に含まれるデノイズ後の残余情報 j である。また、 λ_i は各ブロック i に含まれる残余情報の分散である。

その後、各無線端末は配信サーバと同じ乱数シードを用いて、共通の2次元測定行列 Φ を取得する。また、受信した各ブロック内の残余情報を列ベクトル \hat{s}_i に変換する。このとき、Wi-Fi A あるいは Wi-Fi B のアクセスポイントから残余情報を受信可能な端末は、各アクセスポイントのシンボルレートが影響して、一部の残余情報を受信できない可能性がある。これは、列ベクトル \hat{s}_i に含まれるはずであるいくつかの行が欠落していることと同義である。このとき、無線端末は対応する行を測定行列 Φ から削除する。その後、欠落した残余情報を復元するために、圧縮センシングに基づく復元アルゴリズム Block-based Compressed Sensing with Smoothed Projected Landweber reconstruction (BCS-SPL) [19] を用いる。

最後に、復元した残余情報とデコードした低品質映像とを足し合わせることで、受信後の映像を取得する。

4. 性能評価

4.1 シミュレーション条件

提案方式の有効性を確認するために、Mitsubishi Electric Research Laboratories (MERL) [20] が提供しているビデオシーケンスと MATLAB を用いた計算機シミュレーションを用いて、Wi-Fi の伝送路品質に対する映像品質、LTE の伝送レートに対する映像品質を測定した。

テストビデオシーケンスには *ballroom* を利用した。ballroom は舞踏会の様子を撮影した映像であり、動きが激しい映像である。各ビデオフレームの解像度は 640×480 ピクセルである。なお、ballroom は8台のカメラ映像から構成されているが、本評価では1台目のカメラ映像を利用する。

映像品質を評価する指標として Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) を利用した。PSNR は以下の式で表される。

$$\text{PSNR} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{MAX}}{\sqrt{\text{MSE}}} \right).$$

MAX は各ビデオフレームがとりうる最大の画素値である。本評価で利用する ballroom は各画素が 8bit で構成されるため、255 となる。また、Mean Square Error (MSE) は元映像とデコード後の映像との平均二乗誤差である。

本評価では、全無線端末が LTE 基地局から伝送レート R にしたがって映像情報を受信できるものとする。また、一部の無線端末はその位置に応じて、Wi-Fi A または Wi-Fi B のアクセスポイントから映像情報を受信できるものとする。LTE を通して利用可能な伝送レート R は 2 Mbps とした。また、Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントのシンボルレート (R_A , R_B) はそれぞれ 3.6, 4.6 Msymbols/sec とする。

LTE を介して伝送するビデオシーケンスは、その伝送レート内で送信できるように、量子化パラメータ 35 で符号化する。このとき、LTE のみを受信可能な無線端末が享

受する映像品質は 33.9 dB となる。

比較手法として、H.264/SVC, Proposed without Compressive Sensing (Proposed w/o CS), Proposed を用意した。H.264/SVC では、ビデオシーケンスを3階層(レイヤ)に符号化する。レイヤ1はLTEの基地局、レイヤ2はWi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイント、レイヤ3はWi-Fi B のアクセスポイントから送信するものとする。ここで、各 Wi-Fi のアクセスポイントが利用する変調方式は BPSK、畳み込み符号のレートは 1/2 とする。このとき、2つ目のレイヤおよび3つ目のレイヤで送信するビデオシーケンスのために利用する量子化パラメータはそれぞれ 30, 29 とする。Proposed w/o CS では、まず、ビデオシーケンスをデジタル映像符号化を用いて符号化する。符号化した映像情報は LTE を介して伝送する。その後、オリジナルのビデオシーケンスと一旦デコードしたビデオシーケンスから取得した残余情報をアダマール変換 [5] を用いて平滑化した後、Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントから送信する。残余情報を受信した各無線端末は MMSE フィルタとアダマール変換を用いて受信信号をデコードする。

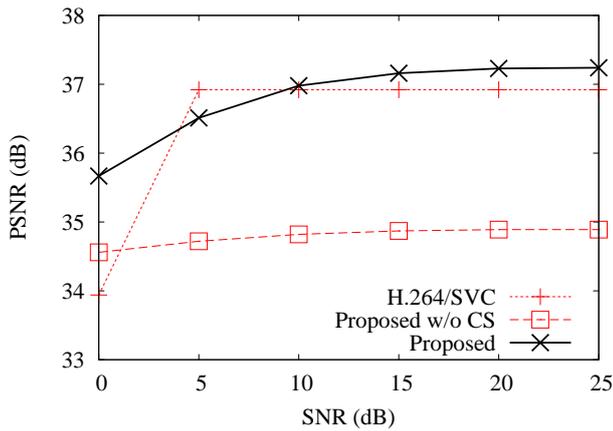
4.2 受信可能な Wi-Fi アクセスポイントに対する映像品質

提案方式の基本性能を評価するため、Wi-Fi A のアクセスポイントから映像情報を受信可能な無線端末、Wi-Fi B のアクセスポイントから映像情報を受信可能な無線端末、Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントから映像情報を受信可能な無線端末がその伝送路品質に応じて享受する映像品質を評価した。

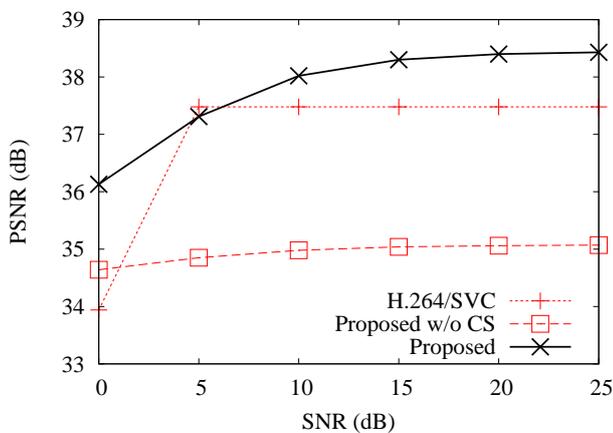
図 5(a) には、LTE の伝送レートが 2 Mbps、無線端末が Wi-Fi A のみを受信可能である場合における各手法の映像品質を示す。横軸は各無線端末と Wi-Fi A のアクセスポイント間の無線伝送路品質を表す Signal-to-Noise Ratio (SNR) であり、縦軸は映像品質を表す PSNR である。図 5(b) には、LTE の伝送レートが 2 Mbps、無線端末が Wi-Fi B のみを受信可能である場合における各手法の映像品質を示す。同様に、図 5(c) に、LTE の伝送レートが 2 Mbps、無線端末が Wi-Fi A および Wi-Fi B を受信可能である場合における各手法の映像品質を示す。横軸は各無線端末と Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイント間の伝送路品質であり、縦軸は映像品質である。図 5(a), (b), (c) の結果より、次の3つのことが分かる。

1つ目は、提案手法はビット誤りによるクリフ効果を抑制できている点である。提案手法では、デジタル映像符号化を残余情報の伝送に利用しないため、ビット誤りによるデコードの失敗を防ぐことができる。

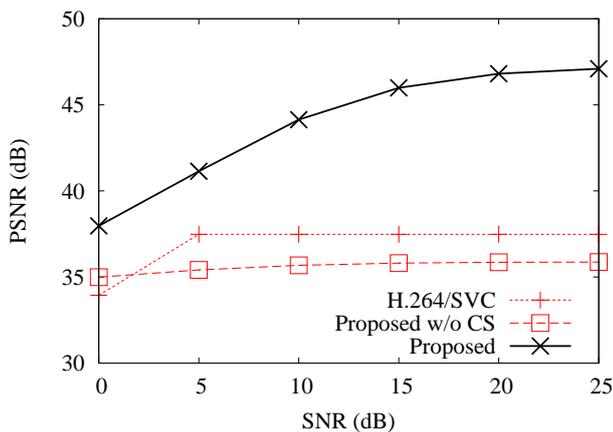
2つ目は、無線端末と Wi-Fi アクセスポイント間の伝送路品質が改善するにつれて、比例的に提案手法の映像品質が改善している点である。提案手法では、ニアアナログ変



(a) Wi-Fi A のアクセスポイントから受信可能な無線端末が享受する映像品質



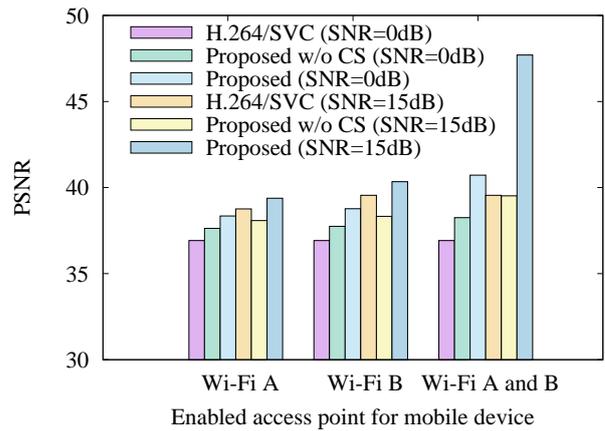
(b) Wi-Fi B のアクセスポイントから受信可能な無線端末が享受する映像品質



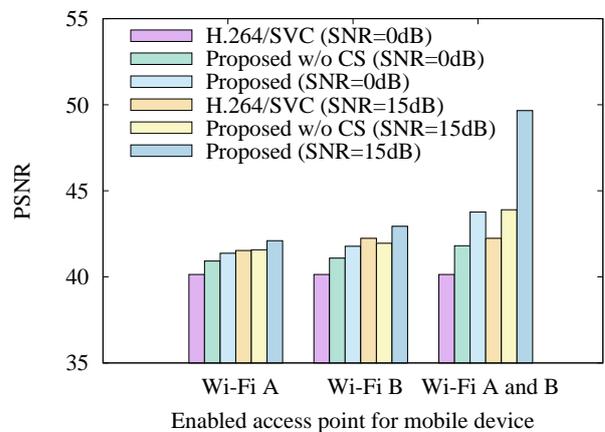
(c) Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントから受信可能な無線端末が享受する映像品質

図 5: 映像情報を受信可能な Wi-Fi アクセスポイントに応じて無線端末が体感する映像品質

調を用いて残余情報を伝送する。ニアアナログ変調を用いることで、伝送路品質に応じて映像品質を比例的に改善することができる。また、圧縮センシングに基づくアルゴリ



(a) LTE の伝送レートが 4Mbps であるとき



(b) LTE の伝送レートが 8Mbps であるとき

図 6: LTE の伝送レートが変化したときの映像品質

ズムをデコードに用いることで、受信できなかった残余情報を復元できるため、より高い映像品質を達成することができる。

3つ目は、無線端末が Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントから映像情報を受信できるとき、提案手法の映像品質が改善している点である。提案手法では、それぞれの Wi-Fi アクセスポイントから受信した残余情報を合わせてデコードすることで、受信映像の高品質化を達成することができる。一方で、H.264/SVC では、Wi-Fi A および Wi-Fi B のアクセスポイントはそれぞれが利用可能な伝送レートに応じてレイヤ 2、レイヤ 3 を送信する。ここで、無線端末が両アクセスポイントから映像情報を受信できるとき、Wi-Fi B を介してレイヤ 3 を受信できるが、Wi-Fi A のアクセスポイントによる伝送を高品質化に利用することはできない。

4.3 LTE の伝送レートがもたらす影響に関する議論

4.2 章では、LTE の伝送レートが 2 Mbps である環境における提案手法の有効性を明らかにした。本章では、LTE の伝送レートが向上した場合における各手法への影響を評

価する。

図 6(a) には, LTE の伝送レートが 4 Mbps, 無線端末が Wi-Fi A, Wi-Fi B, Wi-Fi A および Wi-Fi B を受信可能である場合における各手法の映像品質を示す。このとき, 無線端末と Wi-Fi アクセスポイント間の伝送路品質は 0 dB または 15 dB であるとする。縦軸は映像品質を表す PSNR である。図 6(b) には, LTE の伝送レートが 8 Mbps, 無線端末が Wi-Fi A, Wi-Fi B, Wi-Fi A および Wi-Fi B を受信可能である場合における各手法の映像品質を示す。

これらの結果から, 提案手法における映像品質の向上は, LTE で利用可能な伝送レートに関係なく達成できることが分かる。例えば, LTE で利用可能な伝送レートが 4 Mbps, 無線端末が Wi-Fi A および Wi-Fi B から残余情報を受信可能であり, その伝送路品質が 15 dB であるとき, 提案手法は H.264/SVC および Proposed w/o CS と比較して 8.2 dB の品質改善を達成できる。

5. まとめ

本稿では, LTE および複数の Wi-Fi アクセスポイントを映像配信に利用可能な環境下において, 受信映像の高品質化を達成するための新たな映像伝送手法を提案する。提案手法では, デジタル映像符号化, 圧縮センシング, ニアナログ変調を組み合わせる。デジタル映像符号化は LTE を介した低品質映像の提供と Wi-Fi アクセスポイントによるグレイスフル映像伝送の高品質化を実現する。ニアナログ変調は無線端末と各 Wi-Fi アクセスポイント間の伝送路品質にしたがって比例的に映像品質を改善することを達成する。圧縮センシングによる平滑化は, 複数の Wi-Fi 伝送路による高品質化を達成するとともに, 無線端末が Wi-Fi を通して一部の残余情報のみを取得できるとき, 欠落した情報を復元する。性能評価から, 無線端末が複数の Wi-Fi アクセスポイントから映像情報を受信できるとき, 提案手法は H.264/SVC と比較して映像品質を 8.2 dB 改善できることを明らかにした。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K12672 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Cisco: Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic ForeCast Update 2015-2020 (2016).
- [2] Liu, Z., Cheung, G., Chakareski, J. and Ji, Y.: Multiple Description Coding & Recovery of Free Viewpoint Video for Wireless Multi-Path Streaming, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, Vol. 9, No. 1, pp. 151-164 (2015).
- [3] Otomo, I., Fujihashi, T., Hirota, Y. and Watanabe, T.: Loss Resilient Multi-view Video Streaming over Multiple Transmission Paths, *IEEE International Conference on*

- Communications*, pp. 1-6 (2016).
- [4] Sorensen, J. H., Ostergaard, J., Popovski, P. and Chakareski, J.: Multiple Description Coding with Feedback Based Network Compression, *IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6 (2010).
- [5] Jakubczak, S., Rahui, H. and Katabi, D.: One-Size-Fits-All Wireless Video, *ACM HotNets*, pp. 1-6 (2009).
- [6] Liu, X. L., Hu, W., Luo, C., Pu, Q., Wu, F. and Zhang, Y.: ParCast+: Parallel Video Unicast in MIMO-OFDM WLANs, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 16, No. 7, pp. 2038-2051 (2014).
- [7] Wang, G., Wu, K., Zhang, Q. and Ni, L. M.: SimCast: Efficient Video Delivery in MU-MIMO WLANs, *IEEE Conference on Computer Communications*, pp. 2454-2462 (2014).
- [8] Fujihashi, T., Koike-Akino, T., Watanabe, T. and Orlik, P.: Quality Improvement and Overhead Reduction for Soft Video Delivery, *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1-6 (2016).
- [9] Prabhakaran, V., Puri, R. and Ramchandran, K.: Hybrid Digital-Analog Codes for Source-Channel Broadcast of Gaussian Sources Over Gaussian Channels, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 57, No. 7, pp. 4573-4588 (2011).
- [10] Yu, L., Li, H. and Li, W.: Wireless Scalable Video Coding Using a Hybrid Digital-Analog Scheme, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 24, No. 2, pp. 331-345 (2014).
- [11] Yu, L., Li, H. and Li, W.: Wireless Cooperative Video Coding Using a Hybrid Digital-Analog Scheme, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 25, No. 3, pp. 436-450 (2015).
- [12] He, D., Luo, C., Lan, C., Wu, F. and Zeng, W.: Structure-Preserving Hybrid Digital-Analog Video Delivery in Wireless Networks, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 17, No. 9, pp. 1658-1670 (2015).
- [13] Donoho, D. L.: Compressed Sensing, *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 52, No. 4, pp. 1289-1306 (2006).
- [14] Candes, E. J. and Wakin, M. B.: An Introduction to Compressive Sampling, *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 25, No. 2, pp. 21-30 (2008).
- [15] Li, M., Chen, Z. and Tan, Y. P.: Scalable Resource Allocation for SVC Video Streaming Over Multiuser MIMO-OFDM Networks, *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 15, No. 7, pp. 1519-1531 (2013).
- [16] Fujihashi, T., Koike-Akino, T., Watanabe, T. and Orlik, P. V.: Compressive Sensing for Loss-Resilient Hybrid Wireless Video Transmission, *IEEE Globecom*, pp. 1-5 (2015).
- [17] Liu, Z., Dong, M., Zhou, H., Wang, X., Ji, Y. and Tanaka, Y.: Device-to-device assisted video frame recovery for picocell edge users in heterogeneous networks, *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1-6 (2016).
- [18] Thomas, W., J. S. G., Gisle, B. and Ajay, L.: Overview Of The H. 264/AVC Video Coding Standard, *IEEE Transactions of Circuits And Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 7, pp. 560-576 (2003).
- [19] Mun, S. and Fowler, J. E.: Block Compressed Sensing of Images using Directional Transforms, *IEEE International Conference on Image Processing*, pp. 3021-3024 (2009).
- [20] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11: *Multi-view Video Test Sequences from MERL* (2005).