

学習視聴体験を考慮した 映像品質最適化のための映像配信システム

A Video Delivery System to Enhance the Video-Based Learning Experience through Video Quality Optimization.

楠瀬 法生^{*1}, 吉原 和明^{*1*2}, 越智 洋司^{*1*2}, 井口 信和^{*1*2}
Hosho KUSUNOSE^{*1}, Kazuaki YOSHIHARA^{*1}, Youji OCHI^{*1}, Nobukazu IGUCHI^{*1*2}

^{*1}近畿大学大学院総合理工学研究科

^{*1}Graduate School of Science and Engineering, Kindai University

^{*2}近畿大学情報学部/情報学研究所

^{*2}Kindai University / Cyber Informatics Research Institute, Kindai University

Email: 2433340425k@kindai.ac.jp, yoshiharak@info.kindai.ac.jp,

ochi@info.kindai.ac.jp, iguchi@kindai.ac.jp

あらまし：本研究では、オンデマンド授業における学習体験の向上を目的として、ネットワーク状況や映像内容に応じて映像品質を動的に最適化する HLS ベースの映像配信システムを設計・実装した。VMAF スコアと QoS パラメータの相関を分析するモデルを構築し、解像度やフレームレートなどを自動調整する仕組みを導入することで、学習内容に適した映像品質を提供し、視聴体験と学習効果の向上を目指す。
キーワード：学習視聴体験、映像品質最適化、オンデマンド授業、VMAF、QoS

1. はじめに

近年、オンデマンド授業の普及により、学習者は場所や時間を問わず柔軟に学ぶことが可能となった。一方で、通信環境や視聴デバイスの多様化により、学習体験の質にはばらつきが生じている。現在主流のストリーミング配信では、QoS 制御により回線状況に応じた画質調整が行われているが、映像に対する学習時の視聴体験（以下、学習視聴体験）への対応は考慮されていない。たとえば、医療系手術映像では器具や患部の識別性が求められ、高解像度が学習効果に寄与するとされる⁽¹⁾。一方、スポーツ動作の分析では、一瞬のフォームを捉えるために高フレームレート映像が有効であるとされる⁽²⁾。このように授業内容により最適な映像特性は異なるが、現行の配信方式では一律的な制御が多く、学習者にとって最適な視聴環境が保証されているとは言えない。

本研究では、「ネットワーク状況」「映像特性」そして「学習視聴体験」を統合的に考慮し、映像特性に応じた映像品質を動的に最適化する配信システムを設計・実装する。VMAF スコア⁽³⁾と QoS パラメータ（ジッタ、遅延、通信速度など）の相関を活用して、解像度やフレームレートを自動的に調整する手法を提案することで、学習視聴体験を向上する仕組みの構築を目指す。

2. システム概要

2.1 映像最適化と学習視聴体験の関係

視覚的な快適さの観点から、視聴中に得られる QoS パラメータに基づき、解像度・フレームレート・ビットレートを動的に最適化することで、映像の識別性や滑らかさを確保できる。これにより、細部の

視認が求められるスライド資料や、動作の正確な把握が必要な技能訓練映像などにおいて、学習内容の理解を支援する再生品質が維持される。通信状況の変化による映像停止や画質低下といった体験は、学習の集中を妨げる要因となる。そこで、ストリーミング再生中においても品質を適応的に制御することで、安定した映像提供を実現し、学習者の没入感や継続的な集中の維持を支援する。

2.2 システム構成

本システムは、通信状態に応じて映像の画質を自動調整し、オンデマンド授業における視聴体験の質を高めることを目的とする。構成を図 1 に示す。対象は教育現場の教師と生徒であり、双方がパソコンから利用することを想定している。教師は授業映像を準備し、重要な場面をブラウザ上でマーキングしてアップロードすることで、配信を開始できる。これにより、授業内容に応じて映像特性（視認性、動きの明瞭さ、板書や図の読み取りやすさ）への配慮が特に求められる箇所を事前に指定でき、専門的な編集を行わずとも教材の意図を効果的に伝えられる。生徒はアップロードされた授業動画を Web ブラウザから選び、通信環境に応じて自動で画質が調整された映像をストレスなく視聴できる。多様なネットワーク環境下でも、映像品質が適応的に最適化されることで、通信状況に左右されず安定した視聴が継続でき、学習効果の向上が期待できる。このように本システムは、教材提供者と学習者の双方にとって技術的な負担を軽減し、安定した学習環境を実現するよう設計されている。システムの詳細は、次節で述べる。

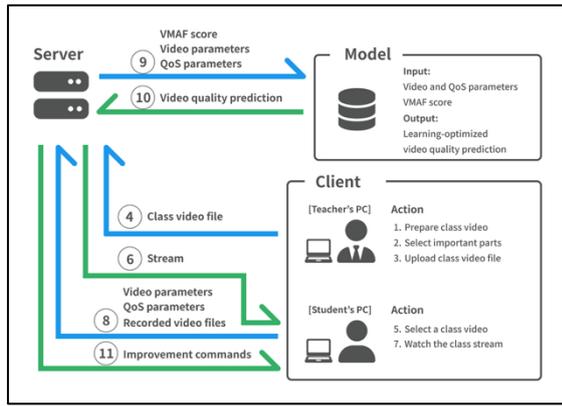


図1 システム構成図

2.3 サーバ

サーバは、通信状態に応じて画質を自動調整し、快適な視聴体験を支援する制御モジュールである。教師が授業動画をアップロードすると、サーバ上でストリーミング配信が可能な形式に自動変換される。生徒が動画を再生すると、PC上でQoSパラメータの測定と再生映像のキャプチャが行われ、サーバに送信される。サーバは、送られた映像と元映像を比較し、VMAFにより画質を評価する。VMAFは、人間の視覚特性を考慮した客観的指標であり、見やすさや自然さを数値化する。この評価結果、QoS情報、および映像パラメータ（解像度、フレームレートなど）は、最適な画質・通信条件を推定するモデルに入力される。出力された最適条件に基づき、クライアントに画質設定の変更を指示することで、映像品質の向上を図る。たとえば、解像度調整による文字の視認性向上や、フレームレートの最適化による滑らかさの確保が可能である。こうした柔軟な制御により、学習者は安定した視聴環境を得られる。

本システムは、WebRTCにおけるVMAF活用の先行研究（Garcíaら、2019）⁽⁴⁾をHLS配信に応用し、実測データに基づく評価と自動制御を統合した枠組みとして設計した。現在、サーバの基本機能は実装済みであり、今後は最適化モデルを用いた制御の有効性を検証していく予定である。

2.4 モデル

モデルは、通信環境と映像の特性に応じて、学習に適した画質設定を推定することを目的としている。入力として、サーバで得られたVMAFスコアに加え、解像度やフレームレートなどの映像パラメータ、パケットロス率やスループットといったQoS情報を用い、それらの相関を分析することで最適な設定を導出する。初期段階では、これらの特徴量を説明変数とし、線形回帰により関係性を可視化したうえで、非線形モデル（ランダムフォレスト等）による精度向上を図っている。たとえば、文字や図の視認性が求められる場面では高解像度を、動作の滑らかさが重要な場面ではフレームレートを優先するなど、学習内容に即した画質制御が可能となる。現在はサンプルデータによる検証段階にあり、今後はクライア

ントから得られた実測データを活用したモデルの本格実装を予定している。このモデルにより、通信状況に左右されず、学習効果を損なわない安定した映像視聴環境の提供が期待される。

3. 評価実験

本実験では、ネットワーク状況に応じた映像品質の最適化が学習体験や学習効果に及ぼす影響を検証する予定である。従来手法（品質制御なしの配信）と、QoSおよび映像特性に応じて画質を動的に調整する提案手法を比較対象とする。評価には、VMAFスコアと平均意見スコア（MOS）を用い、さらに授業映像を種類別に分類して最適化効果を分析する。これにより、通信環境に依存せず、映像内容に即した品質が保たれることが学習者の集中力や理解度にどう影響するかを明らかにし、教育に適した映像配信の設計指針を示すことを目指す。

4. まとめ

本稿では、ネットワーク状況に応じて映像品質を動的に最適化し、学習視聴体験の向上を図る映像配信システムの設計と実装について報告した。今後は、映像特性とネットワーク状態の相関を定量的に分析し、学習効果を損なわず視聴しやすさを保つ画質制御の実現を目指す。また、視聴行動のログ（再生時間や操作履歴）と学習理解度の関係を検討し、学習視聴体験が学習成果にどう寄与するかを明らかにする。今後は教師による教材管理と、学習者による多端末での受講を想定し、デバイス特性も考慮した拡張を進める。本研究の特徴は、通信帯域や主観評価だけに依存しない新たな枠組みとして、「ネットワーク状況」「映像特性」「視聴行動」の3要素を統合的に扱い、教育に資する質の高い学習視聴体験を提供する点にある。

謝辞 本研究に協力いただきました（株）NTTデータ関西に感謝いたします。

参考文献

- (1) Niederhauser, J., Wittkopf, J., Koerber, A., Holzl, M., Preyer, S.: “Video Learning of Surgical Procedures: A Comparison Between 3D Endoscopic, 2D Endoscopic, and Microscopic Techniques”, *Otology & Neurology*, Vol.43, No.8, pp.1123–1129 (2022)
- (2) Pueo, B.: “High-speed Cameras for Motion Analysis in Sports Science”, *Journal of Human Sport and Exercise*, Vol.11, No.1, pp.53–73 (2016)
- (3) Netflix Technology Blog: “VMAF: The Journey Continues”, <https://netflixtechblog.com/vmaf-the-journey-continues-44b51ee9ed12> (accessed 2025-05-22)
- (4) García, B., López-Fernández, L., Gortázar, F., Gallego, M.: “Practical Evaluation of VMAF Perceptual Video Quality for WebRTC Applications”, *Electronics*, Vol.8, No.8, 854 (2019)