

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：32407

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2021～2023

課題番号：21K21293

研究課題名（和文）遠隔映像解析における検出精度と遅延要件を満足する適応的映像品質制御に関する研究

研究課題名（英文）Study on Adaptive Video Quality Control Satisfying Detection Accuracy and Delay Requirements in Remote Video Analysis

研究代表者

伊藤 暢彦（Itoh, Nobuhiko）

日本工業大学・先進工学部・准教授

研究者番号：40706032

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、遠隔リアルタイム映像解析システムにおいて、オブジェクト検出精度と遅延要件を満足する適応的映像品質制御手法を確立することである。本目的を達成するために、アプリケーションとネットワークを連動させた統合的なアプローチにより、所望の検出精度を満足する最小の映像レートを導出する映像品質制御手法と遅延要件を満たす帯域制御手法から構成される適応的映像品質制御手法を考案し、計算機シミュレーションにより、その有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遠隔地でのリアルタイム映像解析システムに本成果を展開することで、カメラ映像を活用した情報サービスの健全な普及促進、安定運用に貢献できると考えられる。オブジェクト検出精度の向上を目的に、オブジェクト検出エンジンそのものの研究は世界的にも取り組まれているものの、オブジェクト検出エンジンに入力する映像の品質を適切に補正する映像品質制御手法は十分に検討されていない。提案手法は、検出エンジン特性を鑑みて適切な映像レートを導出し、その映像データを遅延要件内に伝送することが可能であるため、最先端のオブジェクト検出エンジンのシステム導入に貢献できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to establish an adaptive video quality control method that satisfies object detection accuracy and delay requirements for remote real-time video analysis systems. To achieve this objective, we proposed an adaptive video quality control method that consists of a video quality control method that derives the minimum video rate that satisfies the desired detection accuracy and a bandwidth control method that satisfies delay requirements. The effectiveness of the method was confirmed by computer simulation.

研究分野：通信工学

キーワード：映像品質制御 通信資源割当 IoT 物体認識

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

画像認識技術と移動体通信網の発展に伴い、遠隔地の映像をリアルタイムに解析する様々なサービスが検討されている。たとえば、自動車産業においては、車載カメラセンサ及び路上に設置されたカメラセンサの映像から、クラウド上にあるオブジェクト検出エンジンにより危険車両や歩行者を察知し、未然に事故を防止するサービスが検討されている(図1)。所望の検出精度を満足しながら、カメラ1台あたりの映像レートを削減できると、多数のカメラを社会インフラに実装することが可能となり、カメラ映像を活用した情報サービスの健全な普及促進、安定運用に貢献できる。

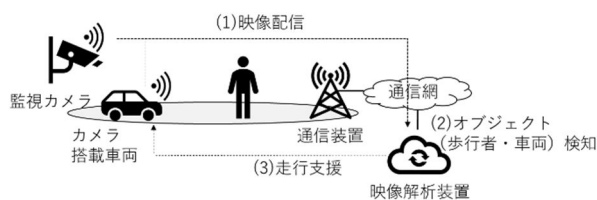


図1. 映像データを活用した情報サービス例

本サービスを実現するには、車両や歩行者の検知漏れを防ぐことと、リアルタイム性の保証が求められる。オブジェクト検出精度はオブジェクト検出エンジンの性能と、そのエンジンに入力する映像の品質に依存する。オブジェクト検出精度の向上を目的に、オブジェクト検出エンジンそのものの高度化に向けた研究は世界的に取り組まれているが、検出エンジンに入力する映像のレートを最適化する映像品質制御手法は未解明である。さらには、オブジェクト検出精度に加え、遅延要件を満足するために、映像品質制御手法に、無線区間における優先制御を組み合わせた統合的な制御手法については十分な検討がなされていない。

映像品質制御手法における、従来技術の代表例である H.265 品質固定モード (H.265 CRF: constant rate factor) は、人間の知覚特性を加味して映像の品質を決定するパラメータを最適化している。そのため、機械によるオブジェクト検出を想定したリアルタイム映像解析の場合、検出精度を一定に保てないこと、また、検出精度の時間変動が大きい。したがって、H.265 品質固定モードでは、機械によるオブジェクト検出を想定した場合、検出精度が著しく劣化する時間を鑑みて常時過剰な映像品質に固定しなければならず、帯域消費量が大きな課題となる。また、高ビットレートな映像配信はネットワーク輻輳をもたらし、遅延特性を劣化させる可能性がある。カメラ映像を活用した情報サービスの健全な普及促進と安定運用には、所望の検出精度と遅延要件を満足する最小の映像レートを導出する手法が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、カメラ映像を活用した情報サービスの健全な普及促進、安定運用への貢献に向けて、所望の検出精度と遅延要件を満足する適応的映像品質制御手法を明らかにすることである。提案手法の検出精度、帯域消費量、遅延特性をシミュレーションで明らかにし、可用帯域が逼迫している状況でも安定してオブジェクトを検出可能なリアルタイム映像解析の実現に資する。

3. 研究の方法

適応的映像品質制御手法は、所望のオブジェクト検出精度を満足する映像ビットレートを導出する映像品質最適化手法とその映像データを遅延要件時間内に届けるための無線資源割当手法から構成されるため、各手法について帯域消費量とオブジェクト検出精度、許容遅延内到達率の改善を中心に研究を遂行した：

【シミュレータによる帯域消費量とオブジェクト検出精度の特性評価】

所望のオブジェクト検出精度を満足する最小のビットレートを導出する映像品質最適化手法を提案し、帯域消費量とオブジェクト検出精度をシミュレータにより評価する。

【シミュレータによる遅延特性評価】

映像品質最適化手法でエンコードされた映像を許容遅延内に届けるための無線資源割当手法を提案し、許容遅延内到達率をシミュレータにより評価する。

4. 研究成果

(1) 映像品質最適化手法

図2に映像品質最適化手法のアーキテクチャを示す。映像品質最適化手法は監視カメラ、IoT-Gateway (GW)、基地局、サーバで構成される。監視カメラとIoT-GW及び基地局とサーバは有線接続されており、IoT-GWと基地局は無線通信を行う。監視カメラの映像はIoT-GWと基地局を通してサーバに送信される。IoT-GWは受け取った映像を物体検出エンジンに入力し、mean average precision (mAP) を計算する際に必要となるオブジェクトの種類と位置を示す Ground Truth (GT) 情報を取得する。

次にサーバから指定された CRF パラメータに基づいて映像をエンコードし、GT 情報とエンコードされた映像をサーバに送信する。サーバは受け取った GT 情報と映像から mAP を計算し、次回

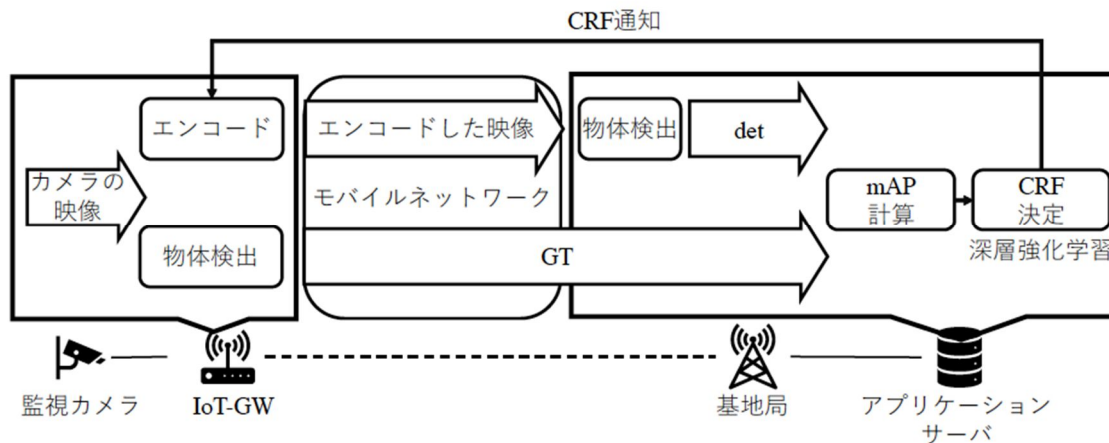


図 2 . 映像品質最適化手法のアーキテクチャ

の CRF パラメータを決定し、IoT-GW に通知を行う。

映像品質最適化手法の根幹は、過去の映像品質とオブジェクト検出精度の関係性を深層強化学習を用いて学習させる機能であり、学習データに基づいて次回の映像フレームの最適な映像品質を算出し、映像の品質を動的に制御する点である。

映像品質最適化手法(DCRF-DRL)を、帯域消費量とオブジェクト検出精度の観点で評価した。従来手法には映像品質制御手法の代表例である、人間の知覚特性を鑑みた H.265 CRF を用いた。図 3 と 4 に、帯域消費量とオブジェクト検出精度特性をそれぞれ示す。図 4 の縦軸は所望の検出精度を満足したフレームの割合である。図 3 と 4 より、提案手法(DCRF-DRL)は従来手法(H.265 CRF)と同等のオブジェクト検出精度(SuccessRate)を達成しながら、帯域消費量を半減可能であることを明らかにした。これは、提案手法は所望のオブジェクト検出精度を満たすために、高い映像品質が必要な際は高ビットレートの映像を、低い映像品質で十分な際は低ビットレートの映像を、状況に応じて動的に選択できているからである。

(2) 無線資源割当手法

映像ビットレートが動的に変化する映像配信システムにおいては、許容遅延を満たすために必要な通信帯域が変化する。また、第 4 世代携帯電話 LTE (Long Term Evolution) や第 5 世代携帯電話 5G (5th Generation) 等の無線ネットワークでは、端末の移動による基地局からの距離や無線品質の変化により、想定したスループット特性が得られず、許容遅延を超過する可能性がある。提案手法では、映像の品質を決定するアプリケーションサーバと移動体通信網のコア装置が連携することで、映像ビットレートの変更を把握する機能を検討し、また、実効スループットとスループットのノミナル値から無線品質変動等の外乱を推定する機能を検討した。

従来手法と性能比較を行うため、図 5 に従来手法のブロック線図を示す。従来手法では、データサイズと許容遅延から Static Controller にて目標スループットを算出し、実効スループットと目標スループットの差分が外乱によるスループット低下とみなし、次回の帯域割当の際に、

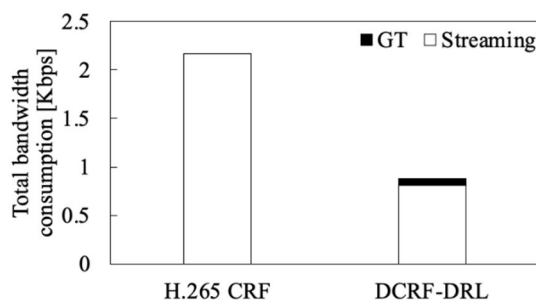


図 3 . 帯域消費量の比較

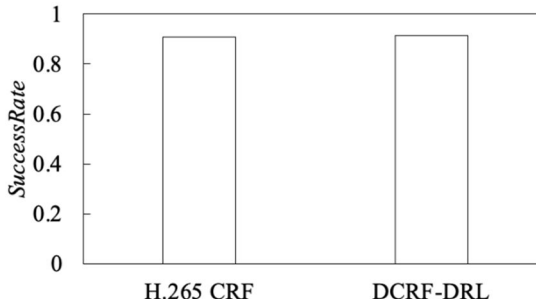


図 4 . オブジェクト検出精度の比較

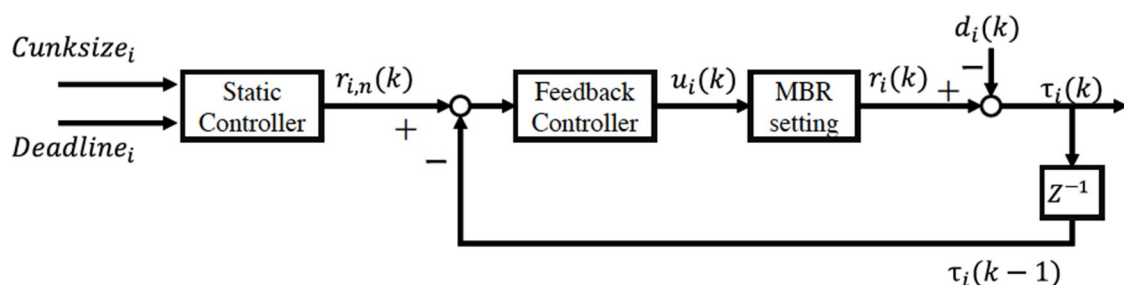


図 5 . 従来手法のブロック線図

その差分の帯域量を加算することで、許容遅延内到達率を満たすためのスループットを導出する。提案手法では、目標スループットを算出する際に、残りデータサイズと許容遅延までの残り時間を利用するように改良し、また、データサイズ変動が発生した際にも、目標スループットを更新する。提案手法では、外乱によるスループット低下の程度を算出する際に、外乱の推定式を過去の外乱の変化を考慮し、移動平均により算出する。

表 1 に従来手法と提案手法の許容遅延内到達率、平均割当帯域、平均映像レートを示す。なお、許容遅延は 3GPP の規定に従い 100 ms とした。従来手法はデータサイズが変動しないことを前提に、目標スループットを算出する。従来手法では、データサイズを CRF=0 と映像品質制御手法により算出されたデータサイズの平均とした場合の 2 パタンの性能を評価した。映像ビットレートは DRL-DCR によってエンコードされた映像が配信されるため、同一の 0.98 kbps である。従来手法 (CRF=0) が最も高い許容遅延内到達率を得たのは、常時 CRF=0 の伝送に必要な帯域量を確保しているためである。しかしながら、従来手法 (CRF=0) の平均割当帯域は、映像ビットレートが 0.98 kbps であるにもかかわらず、8.48 kbps であり、過剰に帯域を確保していることがわかる。モバイルネットワークの通信資源は共有資源であるため、過度な帯域確保は他端末の帯域割当に悪影響を及ぼすと考えられる。従来手法(平均) の平均割当帯域は 1.08 kbps であり、過度な帯域確保は生じていないことがわかる。ただし、従来手法(平均) は、固定的に帯域を割り当てるため、高ビットレートの映像が送信される際に、必要な帯域を確保できず、従来手法(平均) の許容遅延内到達率は 73.8 % となった。一方、提案手法の許容遅延内到達率、平均割当帯域はそれぞれ 95.6 %、1.12 Kbps である。提案手法はデータサイズの変動と無線品質変動を考慮して動的に割当帯域を制御するため、余剰帯域を抑制しながら、高い許容遅延内到達率を得た。

表 1 . 許容遅延内到達率、平均割当帯域、平均映像レートの比較

	従来手法 (CRF=0)	従来手法 (平均)	提案手法
許容遅延内到達率 [%]	99.9	73.8	95.6
平均割当帯域 [Kbps]	8.48	1.08	1.12
平均映像レート [Kbps]	0.98		

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Akutsu Nobuaki, Shindo Takuya, Hiraguri Takefumi, Yoshino Hideaki, Itoh Nobuhiko	4. 巻 13
2. 論文標題 Streaming quality control based on object-detection accuracy	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 IEICE Communications Express	6. 最初と最後の頁 76 ~ 79
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/comex.2023xb10158	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 星野武尊, 進藤卓也, 平栗健史, 伊藤暢彦
2. 発表標題 物体検出のための超解像を用いたトラヒック削減手法に関する研究
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションシステム研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星野武尊, 進藤卓也, 平栗健史, 伊藤暢彦
2. 発表標題 スマート農業におけるReal-ESRGANを用いたトラヒック削減手法に関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会コミュニケーションクオリティ研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星野武尊, 進藤卓也, 平栗健史, 伊藤暢彦
2. 発表標題 きゅうりの等級判定のためのRGB色空間を使用した教師データ生成手法
3. 学会等名 電子情報通信学会インターネットアーキテクチャ研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 阿久津信朗, 進藤卓也, 伊藤暢彦
2. 発表標題 映像と無線の品質変動を考慮した低遅延アプリケーションのためのMBR制御手法の一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 星野武尊, 進藤卓也, 平栗健史, 伊藤暢彦
2. 発表標題 CNNを用いたきゅうりの等級判別システムに関する一検討
3. 学会等名 電子情報通信学会革新的無線通信技術に関する横断型研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Nobuaki AKUTSU, Takuya SHINDO, Hideaki YOSHINO and Nobuhiko ITOH
2. 発表標題 Streaming Quality Control Using Deep Reinforcement Learning for Object-Detection
3. 学会等名 2024 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 阿久津信朗, 平栗健史, 吉野秀明, 伊藤暢彦
2. 発表標題 物体検出精度に基づいた映像品質制御手法の一検討
3. 学会等名 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊藤暢彦
2. 発表標題 オブジェクト検出のための適応型映像品質制御手法の検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関