

氏 名 Zhi LIU

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1722 号

学位授与の日付 平成26年9月29日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Error Resilient Multi-view Video Streaming

論文審査委員 主 査 教授 計 宇生
教授 山田 茂樹
教授 曾根原 登
准教授 福田 健介
准教授 CHEUNG GENE
准教授 高橋 桂太 名古屋大学

Summary of thesis contents

Video is becoming more and more popular. Traditional video streaming only allows users passively receive and playback the video, without any freedom to select the viewing angles. But users tend to change the viewing angles during the video playback especially when watching the sports events, etc. How to provide users the freedom to select favorite viewing angles becomes an important issue.

Interactive multi-view video streaming (IMVS), which offers viewers the freedom to switch to a desired neighboring captured view periodically, and free viewpoint video streaming (FVV), which offers viewers the freedom to choose any viewing angle between the left-most and right-most camera are two types of multi-view video streaming, which could satisfy users' view switch requests. By providing users this freedom, multi-view video is fast becoming the core technology for a number of emerging applications such as free viewpoint TV and is expected to be the next generation of visual communication. One fundamental research problem to achieve these applications is how to deliver the video contents over the networks. The challenges exist in the network channels' unavoidable packet losses, video's playback deadline, the impracticality of retransmission on a per packet, per client basis besides how to satisfy users' view switch requests in an efficient manner.

This dissertation focuses on the application-level streaming optimization and discusses how to deliver the multi-view video over lossy networks considering video encoding methods, frame error concealments which are the works in the signal processing community at the application layer and streaming protocols, cooperative strategies which are the works in the communication community at the network transport layer.

Specifically, to alleviate the wireless packet loss problem, cooperative peer recovery (CPR) for multi-view video multicast was proposed. CPR calls for multi-homed devices listening to the same video multicast to locally exchange received WWAN packets via a secondary network like ad hoc wireless local area network (WLAN) to alleviate individual WWAN packet losses without asking the server to do retransmission. The decision process for individual peers during CPR for recovery of multi-view video content was optimized using Markov decision process (MDP) as a mathematical formalism, so that a loss-stricken peer can then either recover using received CPR packets of the same view, or using packets of two adjacent views and subsequent view interpolation via image-based rendering. In particular, for each available transmission opportunity, a peer decides—using MDP as a mathematical formalism—whether to transmit, and if so, how the CPR packet should be encoded using structured network coding (SNC).

In addition to the loss-resilient aspect during network streaming, we also address how to design efficient coding tools and optimize frame structure for transmission to facilitate view switching and contain error propagation in differentially coded video due to packet losses by using a new unified distributed source coding (uDSC) frame. After inserting uDSC-frames into the coding structure, we schedule packets for network transmission in a rate-distortion optimal manner for both wireless multicast and wired unicast streaming scenarios. For wireless multicast over a Gilbert-Elliott loss model, frames in a group of pictures are packetized and reordered, so

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

that uDSC frames are correctly decoded with high probability, mitigating error propagation. For wired unicast, we use a Markov decision process to optimize packet transmission to minimize expected distortion given a bandwidth constraint.

During FVV wireless network transmission, burst packet losses can corrupt the transmitted texture and depth videos and degrade the synthesized view quality at the client. Since two network paths suffer burst packet losses at the same time is very unluckily, we proposed to encode the texture and depth signals of two camera captured viewpoints into two independently decodeable descriptions for transmission over two disjoint wireless network paths. We designed a novel missing frames recovery scheme using frames in the received description by exploiting the temporal and inter-view correlation of the transmitted viewpoints. Near-optimal source and channel coding rates for each description are selected using a branch-and bound method, for the given transmission bandwidth on each path.

Extensive experiments for these three proposed solutions were conducted. The simulation results showed the proposed schemes' outperformance over the competing schemes in typical network scenario, which indicates that the proposed error-resilient multi-view video streaming schemes will not only enable users enjoy better multi-view video services in term of the better received video quality.

博士論文の審査結果の要旨
Summary of the results of the doctoral thesis screening

本博士論文は「**Error Resilient Multi-view Video Streaming** (誤り耐性を有するマルチビュー映像ストリーミング)」と題し、パケット損失が起きるようなネットワーク環境におけるマルチビュー映像の有効な伝送方式および符号化方法に関する研究である。

ネットワーク上における映像ストリーミングの普及は急速に進みつつある。伝統的な映像ストリーミングでは、視聴する角度を利用者が自由に選択し、変えることができない。この研究では、一列に並ぶ複数のカメラによるマルチビュー映像を使って、視聴者が自由に視点を変えることのできるようなインタラクティブな視聴環境を提供することが目的である。一方、大量な映像データをネットワーク上で伝送する場合、受信環境の変化や帯域の不足によってパケットの損失が起こり、特に連続してパケット損失が発生するような無線環境において映像品質に対する影響が大きい。本論文の内容はマルチビュー映像の複数の視点間の相関関係を利用して、より効率的に情報を伝送し、誤りを回復する映像ストリーミングの方法に関するものである。

論文は6章から構成され、第1章及び第2章の研究の背景、関連研究に続いて、第3章から第5章では、マルチビュー映像ストリーミングのためのエラー回復、複数視点間の切換え、および自由視点映像の有効なストリーミング方式に関する研究内容と結果について述べている。

第3章では、マルチビュー映像のマルチキャストにおける誤りを回復する手段として、近隣によるP2P通信を利用することを提案している。そのために、構造化ネットワーク符号化による多地点間転送の効率化や、マルコフ決定過程による転送方策の最適化の工夫を提案している。実際の映像テストシーケンスによるシミュレーション評価では、それらの方策を取ることによって、映像品質を上げることが可能であることを確認した。

第4章では、分散ソース符号化を利用して、複数の視点間での視点切換えが可能なマルチビュー映像ストリーミングの方法について述べている。分散ソース符号化 (**Distributed Source Coding**) による映像フレームを挿入することによって、視点切り替えを可能にし、さらに、フレームの損失による影響の大きさによってそのフレームに対する保護を非均一化することで、誤りのフレーム間での伝搬を最小限に食い止め、映像品質の向上を図っている。シミュレーションによる評価によって、誤りが連続して発生しがちな無線ネットワーク上においても映像品質の改善を確認した。

第5章では、複数の伝送路による自由視点映像ストリーミングの方法について述べている。自由視点映像では、複数の決まった視点だけでなく、その中間に位置する任意の仮想視点での映像も可能になる。ここでは、時間的超解像技術および深度画像に基づくレンダリングによって損失した映像情報の修復と補間を行う。損失が起こりうる2本の伝送路を使って、2つの近隣視点での映像を交互に送信する方策をとることによって、伝送誤りに強い自由視点映像ストリーミングの方法を提案している。

また、第6章では結論として、本論文のコントリビューションと考察についてまとめ、今後の研究課題を提示した。

なお、研究成果として、出願者は主著で同分野において大変高いインパクトファクタをもつ **IEEE トランザクション誌**を含む雑誌で論文を3篇、**IEEE** のフラッグシップコンファレンスを含む国際会議論文を10篇、その他の学会発表を10件行っている。

以上を要するに、本論文はマルチビュー映像ストリーミングを効率的に行う方式につい

(別紙様式 3)
(Separate Form 3)

て、伝送誤りが連続して起きるようなネットワーク上においても、高い映像品質を追求した伝送方式と符号化方法を提案し、その有効性を示したものであり、将来の映像通信技術の実現に貢献するところが大変大きい。よって、本論文は博士の学位請求論文として合格と認められる。