

令和 3 年 6 月 10 日現在

機関番号：13801

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18036

研究課題名(和文) Error resilient virtual reality (VR) video streaming

研究課題名(英文) Error resilient virtual reality (VR) video streaming

研究代表者

劉志(Liu, Zhi)

静岡大学・工学部・助教

研究者番号：90750240

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：仮想現実(VR)映像は人間に臨場感がある視聴体験を提供するので、教育、医療などの分野での応用が多数登場している。VR映像ストリーミングとは、多数のVR応用を実現するために不可欠である。VR映像の巨大なサイズ、ビュー(ユーザが見る部分)切り替えのゼロ遅延の要件と無線ネットワークパケットロスがあるために、ユーザにVR映像ストリーミングを提供するのは困難である。

本研究では、ユーザの受信映像品質を最大化するために、ソースとチャンネルコーディングを用いた最適な誤り耐性を有するVR映像ストリーミングを提案し、様々なシナリオでVR映像の伝送を最適化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

仮想現実(VR)映像は人間に臨場感がある視聴体験を提供するので、教育、医療などの分野での応用が多数登場している。VR映像ストリーミングとは、多数のVR応用を実現するために不可欠である。

提案された最適な誤り耐性を有するVR映像ストリーミングは、チャンネルのパケットロスを対応することができ、また、最適化されたマルチユーザVR映像伝送は、より高い受信映像品質をユーザに提供することができる。最適化の手法などは、他の同様の問題にも適用可能であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Virtual reality (VR) video provides an immersive 360-degree (views from every direction can be rendered and seen) viewing experience for users wearing a head-mounted display, i.e., as the user rotates his/her head, different fields-of-views (FoV) of the VR video are presented for observation accordingly. To further enhance its applications, networked VR is in critical demand. However, packet losses, which cannot be solved by the existing error resilient non-VR video streaming methods, are unavoidable because of channel fading and shadowing in wireless networks and network congestion and jitter in wired networks. To prevent the video quality deterioration caused by packet losses, this project aims to provide error resilient VR video streaming to maximize users' received video quality. We have proposed optimal error resilient VR video streaming using source and channel coding, and optimized the multi-user VR video transmission in different scenarios.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：VR映像 ビデオストリーミング ソースとチャンネルコーディング 誤り耐性 マルチキャスト 資源配分 最適化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

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んでいる。ネットワークトラフィックに占める映像データの割合は、2017年の64%から2020年には80%に増加すると見込まれている(Cisco Visual Networking Index 2019)。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。一方、没入型映像は、ユーザが視聴する角度を切り替えることができるため、没入感(臨場感)のある視聴体験を提供することが可能となる。

仮想現実(VR)映像は人間に臨場感がある視聴体験を提供するので、教育、医療などの分野での応用が多数登場している。VR映像ストリーミングとは、ネットワークを介してVR映像を転送、再生するダウンロード方式の一種であり、多数のVR応用を実現するために不可欠である。

VR映像は、従来の映像に比べてサイズが大きいため、VR映像を丸ごと送信することは、無線ネットワークに大きな負担をかける。また、VR映像を視聴しているユーザは、どの時点でも、1つ視聴する角度を選択し、全体のビデオの1つの部分(i.e., Field of view (FoV))を見る。そのため、VR映像全体を送信することは不要である。そこで、VR映像の伝送効率を向上させるために、タイリング(tiling)技術が広く採用されている。具体的には、VR映像を同じ大きさの長方形のセグメントに分割し、これをタイル(tile)と呼ぶ。予測された将来の各FoVをカバーするタイルのセットを送信することで、ユーザのQoE(quality of experience)を低下させることなく、通信リソースを節約することができる。VR映像ユーザは、視聴方向を変更することができる。視聴する角度の予測誤差を許容するために、より大きなタイルセットを送信する。

ネットワークの資源配分をどのように最適化するか、パケットロスを考慮してどのように高品質な映像を提供するかなど、まだまだ未解決の課題がある。VR映像の巨大なサイズ、FoV切り替えのゼロ遅延の要件などがあるために、ユーザにVR映像ストリーミングを提供するのは非常に困難である。

2. 研究の目的

仮想現実(VR)映像は人間に臨場感がある視聴体験を提供するので、教育、医療などの分野での応用が多数登場している。VR映像ストリーミングとは多数のVR応用を実現するために不可欠である。しかし、ネットワークの資源配分をどのように最適化するか、パケットロスを考慮してどのように高品質な映像を提供するかなど、まだまだ未解決の課題がある。VR映像の巨大なサイズ、FoV切り替えのゼロ遅延の要件などがあるために、ユーザにVR映像ストリーミングを提供するのは非常に困難である。

本研究は、これらの問題を解決し、より良い受信映像品質をユーザに提供することが目的である。特に、誤り耐性を有するVR映像ストリーミングを提供したい。また、様々なシナリオでVR映像の伝送を最適化する。

3. 研究の方法

本研究はより良い受信映像品質をユーザに提供することが目的である。特に、誤り耐性を有するVR映像ストリーミングを提供したい。また、様々なシナリオでVR映像の伝送を最適化する。研究目標を達成するために、以下の方法を採用する

- ソースとチャンネルコーディングによる誤り耐性:
ソースとチャンネルコーディング(source and channel coding)を使用して、誤り耐性を提供し、VR映像システムを最適化する。
- トランスコーディングによる伝送性能向上:
ユーザがトランスコーディング(transcoding)を行う場合には、自然マルチキャストとトランスコーディングによる選択可能なマルチキャスト機会の両方を利用して、より優れた性能を得る。
- 数学ツールを使用して、定式化された目的関数を解く:
様々なシナリオを検討し、VR映像のストリーミングを最適化問題に定式化し、数学ツールを用いて目的関数を解く。

4. 研究成果

本研究では、ユーザの受信映像品質を最大化するために、ソースとチャンネルコーディングを用いた最適な誤り耐性を有する VR 映像ストリーミングを提案し、様々なシナリオで VR 映像の伝送を最適化した。関連する結果は、ジャーナルと会議の論文に掲載されている。研究成果の一部を以下に示す。

- 誤り耐性を有する VR 映像ストリーミング

パケットロスが発生しやすいネットワーク環境における VR 映像の伝送を検討した。具体的には、大きなソースエンコーディングサイズを克服する方法(最適なタイリング)と視聴する角度の切り替え機能を提供する方法、誤り耐性を有する VR 映像ストリーミング方法(本研究ではソースとチャンネルコーディングを使った)を連携させ、新たな VR 映像ストリーミングスキームを提案した。さらに、最適化理論に基づき、性能向上を実現した。シミュレーションの結果、既存のものよりも良好な性能が得られた。

- VR 映像マルチキャスト

時分割多元接続(TDMA)システムにおいて、ユーザ毎にトランスコードを行う場合と行わない場合の VR 映像を複数ユーザに最適伝送することを検討した。トランスコーディングを行わない場合には、自然マルチキャストの機会を利用して平均伝送エネルギーが最小となるように伝送資源配分を最適化し、凸最適化手法を用いて最適解が得られた。また、ユーザがトランスコーディングを行う場合には、自然マルチキャストとトランスコーディングによる選択可能なマルチキャスト機会の両方を利用して、送信リソースの割り当てと送信品質レベルの選択を最適化し、DC Programming を用いて最適解が得られた。シミュレーションの結果、既存のものよりも良好な性能が得られた。

- 完全、不完全、未知の FoV 視聴確率を持つ VR 映像の最適なストリーミング

VR 映像ストリーミングでは、ユーザがどのように視聴角度を切り替えているのかを把握することが重要である。視聴角度の予測について、正確な予測、部分的に正確な予測、未知の 3 つのケースを考え、1 つのサーバから複数のユーザへの VR 映像ストリーミングを最適化した。そして、それぞれのケースにおいて、ビデオレート、ネットワーク資源、ビームフォーミングを最適化し、シミュレーションの結果、既存のものよりも良好な性能が得られた。

- VR 映像ストリーミング QoE のモデリングとシステム構築

VR 映像システムを構築し、タイル数、映像品質レベルの切り替えなどを考慮した QoE モデルが得られた。また、主観的品质評価実験を通じて、QoE とこれらの要因との関係を数学的に解析し、VR 映像ストリーミングの総合的な QoE モデルを提案した。

提案された QoE モデルは、緯度(latitude)、タイル数、失速、解像度レベルの切り替えなどの要因を含む。これを踏まえて、帯域幅を考慮した QoE モデル駆動の VR 映像ストリーミングフレームワークを提案した。予測された帯域幅と視聴角度が与えられると、QoE 値を最大化するための適切なタイリングと解像度レベルを見つけることができる。理論解析とシミュレーションを行い、性能を検証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Li Jie, Feng Ransheng, Sun Wei, Liu Zhi, Li Qiyue	4. 巻 24
2. 論文標題 QoE-Driven Coupled Uplink and Downlink Rate Adaptation for 360-Degree Video Live Streaming	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Communications Letters	6. 最初と最後の頁 863 ~ 867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCOMM.2020.2966193	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chen Xianfu, Wu Celimuge, Chen Tao, Zhang Honggang, Liu Zhi, Zhang Yan, Bennis Mehdi	4. 巻 19
2. 論文標題 Age of Information Aware Radio Resource Management in Vehicular Networks: A Proactive Deep Reinforcement Learning Perspective	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 2268 ~ 2281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2019.2963667	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Xu Wei, Cui Ying, Liu Zhi, Li Haoran	4. 巻 24
2. 論文標題 Optimal Multi-View Video Transmission in OFDMA Systems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Communications Letters	6. 最初と最後の頁 667 ~ 671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCOMM.2019.2961355	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Xu Wei, Cui Ying, Liu Zhi	4. 巻 68
2. 論文標題 Optimal Multi-View Video Transmission in Multiuser Wireless Networks by Exploiting Natural and View Synthesis-Enabled Multicast Opportunities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 1494 ~ 1507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2019.2954523	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Gao Yunlong, Cui Ying, Wang Xinyun, Liu Zhi	4. 巻 23
2. 論文標題 Optimal Resource Allocation for Scalable Mobile Edge Computing	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Communications Letters	6. 最初と最後の頁 1211 ~ 1214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCOMM.2019.2916075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhi Liu, Susumu Ishihara, Ying Cui, Yusheng Ji, Yoshiaki Tanaka	4. 巻 147
2. 論文標題 JET: Joint Source and Channel coding for Error Resilient Virtual Reality Video Transmission	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Signal Processing	6. 最初と最後の頁 154-162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sigpro.2018.01.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Chengjun, Cui Ying, Ng Derrick Wing Kwan, Liu Zhi	4. 巻 66
2. 論文標題 Multi-Quality Multicast Beamforming With Scalable Video Coding	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Communications	6. 最初と最後の頁 5662 ~ 5677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCOMM.2018.2848251	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Zhou Hao, Wang Xiaoyan, Liu Zhi, Ji Yusheng, Yamada Shigeki	4. 巻 67
2. 論文標題 Resource Allocation for SVC Streaming Over Cooperative Vehicular Networks	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Vehicular Technology	6. 最初と最後の頁 7924 ~ 7936
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVT.2018.2847325	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Celimuge Wu, Zhi Liu, Di Zhang, Tsutomu Yoshinaga, Yusheng Ji	4. 巻 56
2. 論文標題 Spatial Intelligence towards Smart Vehicles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Communication Magazine	6. 最初と最後の頁 22-27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MCOM.2018.1800089	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Chengjun Guo, Ying Cui, Zhi Liu	4. 巻 8
2. 論文標題 Optimal Multicast of Tiled 360 VR Video	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Wireless Communication Letter	6. 最初と最後の頁 145-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LWC.2018.2864151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Guo Chengjun, Cui Ying, Liu Zhi	4. 巻 22
2. 論文標題 Optimal Multicast of Tiled 360 VR Video in OFDMA Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Communications Letters	6. 最初と最後の頁 2563 ~ 2566
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LCOMM.2018.2873005	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Jingyun Feng, Zhi Liu, Celimuge Wu, Yusheng Ji	4. 巻 14
2. 論文標題 Mobile Edge Computing for the Internet of Vehicles: Offloading Framework and Job Scheduling	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Vehicular Technology Magazine	6. 最初と最後の頁 28-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MVT.2018.2879647	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Guo Chengjun, Zhao Lingzhi, Cui Ying, Liu Zhi, Ng Derrick Wing Kwan	4. 巻 -
2. 論文標題 Power-Efficient Wireless Streaming of Multi-Quality Tiled 360 VR Video in MIMO-OFDMA Systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TWC.2021.3067803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Long Kaixuan, Cui Ying, Ye Chencheng, Liu Zhi	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimal Wireless Streaming of Multi-Quality 360 VR Video by Exploiting Natural, Relative Smoothness-enabled and Transcoding-enabled Multicast Opportunities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Multimedia	6. 最初と最後の頁 1~1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMM.2020.3029880	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

[学会発表] 計8件(うち招待講演 0件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 Jie Li, Cong Zhang, Zhi Liu, Wei Sun, Wei Hu, Qiyue Li
2. 発表標題 Demo abstract: NarWhal: a DASH-based Point Cloud Video Streaming over Wireless Networks
3. 学会等名 IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Jie Li, Cong Zhang, Zhi Liu, Wei Sun, Qiyue Li
2. 発表標題 Joint Communication and Computational Resource Allocation for QoE-driven Point Cloud Video Streaming
3. 学会等名 54th IEEE International Conference on Communications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 发表者名 Lingzhi Zhao, Chengjun Guo, Ying Cui, Zhi Liu
2. 发表标题 Optimal Transmission of 360 VR Videos with Perfect, Imperfect and unknown FoV Viewing Probabilities
3. 学会等名 2020 IEEE Global Communications Conference (Globecom) (国际学会)
4. 发表年 2020年

1. 发表者名 Kaixuan Long, Ying Cui, Chengcheng Ye, Zhi Liu
2. 发表标题 Optimal Transmission of Multi-Quality Tiled 360 VR Video by Exploiting Multicast Opportunities
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (国际学会)
4. 发表年 2019年

1. 发表者名 Xun Shao, Go Hasegawa, Noriaki Kamiyama, Zhi Liu, Hiroshi Masui and Yusheng Ji
2. 发表标题 Joint Computing Resource and Data Allocation Optimization for MEC: An Online Approach
3. 学会等名 The 28th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN) (国际学会)
4. 发表年 2019年

1. 发表者名 Kaixuan Long, Chencheng Ye, Ying Cui, Zhi Liu
2. 发表标题 Optimal Multi-Quality Multicast for 360 Virtual Reality Video
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (国际学会)
4. 发表年 2018年

1. 発表者名 Jie Li, Ransheng Feng, Zhi Liu, Wei Sun, Qiyue Li
2. 発表標題 Modeling QoE of Virtual Reality Video Transmission Over Wireless Networks
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Wei Xu, Yuzhuo Wei, Ying Cui, Zhi Liu
2. 発表標題 Efficient Multi-View Video Transmission by Exploiting View Synthesis-Enabled Multicast Opportunities
3. 学会等名 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) (国際学会)
4. 発表年 2018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		
中国	Shanghai Jiao Tong University	Hefei University of Technology	Peking University
フィンランド	VTT Technical Research Centre of Finland		