

氏 名 RUIJIAN AN

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 1927 号

学位授与の日付 平成29年3月24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 Video Streaming over Vehicular Networks Using Scalable
Video Coding

論文審査委員 主 査 教授 計 宇生
准教授 阿部 俊二
准教授 福田 健介
准教授 鯉淵 道紘
特任教授 山田 茂樹 国立情報学研究所
准教授 策力 木格 電気通信大学

論文内容の要旨
Summary of thesis contents

Intelligent Transport System (ITS) is the next generation transport system, which is introduced to improve road safety, driving experience and efficiency, by employing vehicular networks on the road. The vehicular networks consist of two kinds of communications, thus Vehicular-To-Infrastructure (V2I) and Vehicle-To-Vehicle (V2V). New information and communication technologies are applied in the scope of traffic configuring, road transport and mobility management, etc. Besides road safety, vehicular network communication is also a promising way to provide a lot of services, such as traffic monitoring, driving assistance and entertainment.

Video is an important medium for information sharing and entertainment (infotainment). In several years, video contents dissemination would extend 80% to 90% of the entire Internet traffic load, referring to the recent CISCO report. Recently, more attention is caught for the video streaming in vehicular networks. Compared with smart phones, the car engine can provide ample power for intensive data computation and communication. Vehicles can also equip large on-board storage. As a result, the vehicles in the vehicular networks are powerful enough to transmit continuous video data among other vehicles or Road Side Units (RSUs). Furthermore, the recent vehicular communication standard can support up to 54 Mbps transmission rate. Even between high speed driving vehicles, it is reasonable to expect a 1Mbps data rate.

However, compared with the conventional networks, wireless communication in vehicular networks is challenged by the following problems. Firstly, the wireless channel suffers from the time-varying fading, shadowing and interference, which lead to high variation of link throughput. Secondly, vehicular communication is also affected by the high moving speed of vehicles. To accommodate the QoS constraints posed by video services in vehicular networks, the Scalable Video Coding (SVC) scheme in H.264/AVC standard family offers spatial and temporal scalabilities for video streaming.

We describe the scenario setting in this thesis as follows. While vehicles are running on the highway road, RSUs deployed along the road provide video streaming services for all vehicular users. The videos are encoded into multiple layers with SVC mechanism. Besides the users who are using the video streaming services, vacant users are willing to help the communications between the RSUs and the video users, in a cooperative way.

In this thesis, SVC coded videos over cooperative vehicular networks are investigated to improve the performances of the video streaming services. We target the optimization problems of how many video layers should be transmitted for each vehicle, how to select the relay vehicular users to assist the receiver vehicles, and how to assign network resources to direct and cooperative communications.

The joint SVC layer selection and resource allocation for the multi-user video streaming over highway scenario was investigated at first. We proposed a Resource Allocation and Layer Selection (RALS) algorithm, which explicitly takes account of the utility value of each Group Of Picture (GOP) among all vehicular users. We decoupled this problem to two subproblems, i.e., the SVC layer selection subproblem and the resource allocation subproblem. The proposed RALS algorithm was designed to solve these subproblems separately. In RALS, we solved the SVC layer selection subproblem with dynamic programming method, and used a greedy based resource allocation scheme to deal with the resource allocation subproblem. The performance of RALS was evaluated by extensive simulations.

(別紙様式 2)
(Separate Form 2)

Simulation results showed that RALS outperformed the comparison schemes in typical scenarios. Despite the system utility values, the GOP distributions of the comparison schemes were also shown in the simulation results section. The GOP distributions illustrated the detailed performance in the perspective of each user. As an extension of RALS, we designed RALS with Base layer Guarantee (BG) scheme to reduce the playback freeze. The performance of RALS with BG was also evaluated in the simulation results section and compared with RALS.

Then, we later investigated the joint SVC layer selection, resource allocation and relay assignment problem in cooperative vehicular networks. We formulated the relay assignment problem as a Maximum Weighted Bipartite Matching (MWBM) problem, and solved this problem with the proposed Maximum Utility Increment (MUI) algorithm. In MUI, we employed the Hungarian algorithm and Bellman-Ford algorithm to solve the MWBM problem. To solve the resource allocation and SVC layer selection problem, we explicitly considered the segment utility increment in MUI. The performance of MUI was evaluated by exploiting extensive simulations. Simulation results showed that MUI outperformed the comparison schemes in typical scenarios. In the perspective of each user, the GOP distributions of each comparison scheme were also shown in the simulation results section. In order to reduce the number of frozen GOPs in the playback, we extended the MUI to MUI with base layer guarantee scheme. According to the simulation results, MUI with base layer guarantee could eliminate playback freeze with quite little PSNR loss in most cases. The limited network resources do not allow all vehicular users to receive the videos with the highest SVC layer levels simultaneously. However, the proposed scheduling algorithms have the ability to improve the system performance in the perspective of the quality of perceived videos, or the quality of experience. At the same time, proportional fairness is approximately achieved as well. As a result, the video streaming over vehicular networks is expected to perform better than before, and we are a small step forward to the bright future of in-vehicle infotainment.

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「Video Streaming over Vehicular Networks Using Scalable Video Coding (スケーラブルビデオコーディングを用いた車載ネットワーク上のビデオストリーミング)」と題し、車載環境におけるビデオストリーミングのための品質制御とスケジューリングに関する研究内容をまとめたものである。

車載環境におけるビデオストリーミングは、時間的に変化する無線チャネルのフェージングなどの要因に加え、車の移動により、電波環境がより不安定になるために、どのように品質を確保するかはチャレンジングな課題である。本研究では、ビデオの階層的符号化により品質の選択が可能なスケーラブルビデオコーディング (H.264/SVC, 以下SVCと記す) を利用して、路側機からビデオを車の中の利用者に伝送する場合のSVCレイヤの選択、利用者への無線資源配分、および中継ノードの選択を最適に行うための課題を解決することによって、車載環境におけるビデオストリーミングの品質向上の方法を提案している。

論文は4つの章から構成され、第1章の研究の背景と動機に続いて、第2章では、車載環境におけるビデオストリーミングのための資源配分とSVCレイヤの選択の問題、そして、第3章では、他の車が中継ノードになる協調的通信が可能な場合の、中継ノード選択の問題も加えた統合的な制御アルゴリズムに関する研究内容について述べている。

第2章では、まず、車載環境におけるビデオストリーミングで得られる効用関数を最大にするための無線資源配分とSVCレイヤ選択の統合問題を整数計画問題に定式化した。次に、この同時最適化問題をSVCレイヤ選択と無線資源配分の2つの部分問題に分割することによって、SVCレイヤ選択問題を動的計画法で解決し、効用関数の非減少凹関数への近似で無線資源配分問題を近似度を与えられた貪欲法で解決した。高速道路という環境設定でシミュレーションを行った結果、提案アルゴリズムによるビデオ品質を示すPSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)値は、伝送レートや、効用関数の増分のそれぞれ単独による最適化よりも最適解に近い値を有することが示された。また、伝送の中断による品質の低下を防ぐために基本レイヤを優先して伝送する方式が利用者数の少ない条件では高い利用者体感度を与えることを示した。

第3章では、車載環境におけるビデオストリーミングの品質を上げるために、道路上で走る他の車が中継ノードとなって、ビデオの中継を行うことが可能な協調的通信環境における無線資源配分、SVCレイヤ選択、および中継ノード選択の統合問題の解決について述べている。それらの統合問題を定式化した後、2部グラフの最大マッチング問題による中継ノード選択と、最大効用増分による資源配分とレイヤ選択を行うアルゴリズムを提案した。シミュレーションによる評価の結果、特に路側機から遠い、無線チャネル品質の良くない区域においては、中継によるビデオ品質の改善が認められた。

最後に、第4章では本論文の考察と結論についてまとめ、今後の展望と研究課題を提示した。

なお、研究成果として、出願者は主著で査読付きジャーナル論文1篇、査読付き国際会議論文4篇の発表(予定を含む)を行っている。

以上を要するに、本論文は車載環境におけるビデオストリーミングに関する課題について、スケーラブルビデオコーディングを利用して伝送するビデオレイヤの選択で品質を制御し、移動によって変化する電波環境に対応して無線資源の割当てを行うための方法を提案し、その有効性を示したものであり、車載環境におけるビデオ情報伝達とエンタテイン

(別紙様式 3)

(Separate Form 3)

メントサービスの実現に役に立つことが期待される。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。