

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700138

研究課題名(和文) 実写映像処理に基づく運転模擬環境の構築と視覚特性評価

研究課題名(英文) Development of Driving Simulation System based on Real Image Processing and its Evaluation on Visual Characteristic

研究代表者

小野 晋太郎(Ono, Shintaro)

東京大学・生産技術研究所・特任准教授

研究者番号：80526799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円、(間接経費) 390,000円

研究成果の概要(和文)：ドライビングシミュレータ(DS)の表示系において、既存の方式よりも現実感の高い見えを簡易に構築する手法を開発した。

DSの背景映像については、計測車両で取得した実写映像から自由視点映像を合成し、圧縮・展開して表示できるようにした。また、前景となる道路構造部分については、国の道路基盤地図情報を活用することでモデリング作業を半自動化した。

また、シーンデプスを仮定して自由視点を再現する描画方式と、単純な円筒面状のデプスを設定して車両挙動の回転成分のみを反映する簡易描画方式で運転者の視覚特性を比較した。結果、複雑なシーンの描画には、簡易方式の方が却って有利となる可能性があることも示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this research, a method to construct photo-realistic driving view for a driving simulator (DS) is developed. As for backgrounds of a DS, real videos captured by our sensing vehicle are reconstructed, and displayed with free-point view and data compression. As for foregrounds, CG of road structures became enabled to be quickly modeled from national digital maps. Also, the visual characteristic of rendering methods for a DS is evaluated by comparing two types, one is free-point-view rendering based on scene depth, and the other is a simple rendering based on a cylindrical depth map that can only deal with rotation component of the motion of the DS. As a result, it was implied that there is a possibility that simple rendering method can be superior for rendering complex traffic scenes.

研究分野：情報学

科研費の分科・細目：メディア情報学・データベース

キーワード：ドライビングシミュレータ ITS 自由視点映像 デジタル地図

## 1. 研究開始当初の背景

ITS (Intelligent Transport Systems) とは、最先端の情報通信技術等を用いて、交通事故をはじめとした、ヒトやモノの移動に関する社会的課題を解決するものである。ドライビングシミュレータ (DS) は、様々な交通シーンを模擬することができる ITS の中核ツールであり、近年では交通施策の事前評価にも活用されるようになってきている。

学術的に見ると、DS は力学系 (車両力学)、表示系 (CG、仮想現実) などの技術で構成されている。力学系においては、トヨタの 8 自由度 DS など、車両挙動を高度に模擬する技術が盛んに取り入れられている一方、表示系においては、今なお古典的な CG による提示 (CAD ツールを用いてシーンの三次元構造やテクスチャを設定し、そのまま表示する方式) がほとんどである。このような方式の問題点として、視覚的な現実感が高くなく、また CG のモデリング作業にも膨大な手間・時間を要することが挙げられる。

本研究では、車載センサーや道路の電子地図情報を利用することで、この問題を解決する。DS 映像のうち、背景部分は実写映像などを再構成処理して提示する。道路構造部分は図面データを自動的に CG として取り込み、両者を重ね合わせることで、現実感の高い DS 映像を簡易に構築する。

また、提案するような映像処理により DS 映像を再現する方法が、運転操作の模擬という観点からどの程度適用できるかという点はこれまで十分に検証されていなかった。本研究では、従来の描画方式と比較してどのように運転挙動の違いや視覚的違和感が生じるかについても検証する。

## 2. 研究の目的

本研究では、高度道路交通システム (ITS) の中核ツールであるドライビングシミュレータ (DS) の表示系において、車載センサーで取得した道路周辺環境の実写映像や形状、また道路構造の電子地図情報を効果的に用いることで、既存の方式よりも現実感の高い見えを簡易に構築する手法を開発するとともに、描画方式による視覚特性を評価することで、実社会における交通問題の解決のために適切に活用されるようにすることを目的とする。

DS 映像の背景部分には、計測用車両で撮影した実写映像を再構成 (圧縮・展開) 処理し、運転操作に応じて自由な視点で提示することで、視覚的現実感を大幅に向上させた映像を簡易に実現する。

DS 映像の道路構造部分には、国土交通省が整備する図面データを DS に自動的に取り込むことで、道路構造のモデリング作業を大幅に軽減する。

また、実写映像から自由視点映像を合成して提示する方式が、従来の方式と比較してどのように運転挙動の違いや視覚的違和感が

生じるかについて検証する。

## 3. 研究の方法

(1) 実写映像を用いた DS 背景映像の提示方法の開発 :

計測車両により実道を走行してパノラマ映像を取得し、このデータを DS の運転操作に応じて表示できるようにする。光線空間法を利用して画像を再構成することで、擬似的な視点変更 (車線変更効果) を実現する。また、大容量のパノラマ映像データを効率的に圧縮し、展開しながら表示する手法を開発する。画像データ量と画質などを評定する。

(2) 電子地図を用いた DS における道路構造 CG のモデリング :

DS 映像の道路構造部分では、(1) の撮影時には他車両が映り込み、また DS 映像表示時には他車両や歩行者を任意の挙動で出現させる、交通信号を制御するなどの必要があることから、従来型の CG を用いることとする。

道路構造部分の CG を効率的に構築するため、国土交通省が整備を進めている道路基盤地図情報を利用する。道路基盤地図情報とは、直轄国道において道路工事が行われた際に業者から国土交通省に納められる道路の電子図面データである。これを DS のシナリオに自動的に取り込めるようにする。

(3) 実写映像合成 DS 環境の構築 :

既存の設備を活用しながら、運転席、プロジェクタ、スクリーンなどからなる定置型の実写映像合成型 DS 環境を整備する。(1) により描画した高現実感の背景映像と (2) により構築した従来型の CG による道路構造部の映像を重ね合わせて出力する。DS の運転者は合成映像を見ながら運転し、その運転挙動が記録できるようにする。

(4) 実写映像合成 DS におけるユーザの視覚特性の分析 :

実写映像を合成して用いることにより現実感の高い DS 運転映像が実現できるが、これが従来の古典的な CG のみによる描画を行った場合と比較して視覚的な違和感がどのように異なるかを被験者実験により評価する。

また、実写映像を用いて自由視点映像 (車線変更効果) を再現する場合、周囲の建物等の構造によっては、より単純化した円筒型デプスマップを仮定して描画しても視覚的な違和感を抑えて運転できる可能性がある。この視覚特性を様々な運転シナリオにおいて明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 実写映像を用いた DS 背景映像の提示方法の開発 :

計測車両により取得したパノラマ映像を再構成し、視点移動に応じて表示できるよう

にした。図1のように、見込み角度に応じたテクスチャを保持して提示することで視点変更（車線変更効果）を実現した。また、それらのテクスチャが角度ごとに類似していることを利用して、主成分分析を適用することでデータを圧縮・展開できるようにした。

圧縮・展開を経た描画面像と未圧縮の描画面像を比較したところ、一般に十分な描画面質であるとされる PSNR = 35dB を達成するために必要な圧縮データの量は、元のデータ量に対して 20%以下であった。すなわち、十分な品質を保ったままデータ量を 1/5 に削減することができた。

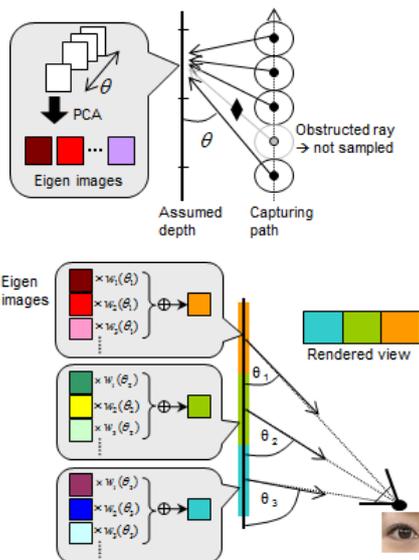


図 1 : DS 背景映像の提示方式



図 2 : DS 背景映像の描画例

(2) 電子地図を用いた DS における道路構造 CG のモデリング :

道路基盤地図情報(図3)の完成平面図(SXF, P21)には、路面の外縁や白線などの地物ごとに座標情報が含まれている。これより必要な地物を自動抽出し、DS用のCADツール(シナリオエディタ)に取り込めるようにした。また、現状の道路基盤地図情報に含まれないがDSには必要とされる情報(段差、テクスチャなど)については手動で作成した。

図4にこの方法で作成したシナリオの例を示す。これをDSにインストールして動作確認を行い、問題がないことを確認した。



図 3 : 道路基盤地図情報

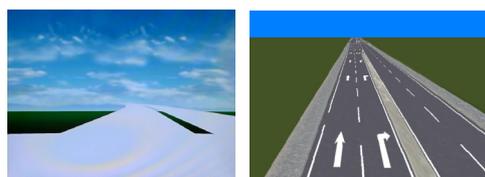


図 4 : (左) 自動生成した道路構造シナリオ (右) テクスチャ付加後のシナリオ

(3) 実写映像合成 DS 環境の構築 :

既存の設備を活用し、図5のような運転席、プロジェクタ、スクリーンなどからなる定置型の実写映像合成型 DS 環境を整備した。実写映像を用いた DS の背景映像に、従来型の CG による道路構造部の映像を上書き描画することで合成映像を提示できるようにした。

車両挙動の計算や従来型 CG の描画など、本研究で開発する範囲外の機能については、市販の DS 製品の機能により実現した。



図 5 : (上) 定置型実写映像合成 DS 環境 (下) 合成出力例

(4) 実写映像合成 DS におけるユーザの視覚特性の分析 :

まず、実写映像と CG を合成描画した運転映像と、従来型の CG のみにより描画した運転映像をそれぞれ見ながら DS を運転してもらい、自由記述により感想を尋ねたところ、約半数の被験者が現実感について不十分であると回答した。これは、実写画像取得時の撮影間隔が十分に密でないことによる低フレームレート感、車両の振動による描画ノイズ、撮影画像の画質などに起因すると推察された。それぞれ、画像補間、振動補正、超解像などの手法により改善することが今後の

課題である。

また首都高速道路のシナリオを対象として、シーンのデプスマップを仮定して自由な車両挙動（回転および車線変更効果）を再現する描画方式と、単純な円筒面状のデプスマップを設定して車両挙動の回転成分のみを描画に反映する簡易的な描画方式について、被験者の視覚的特性（違和感）を5段階のスコアで評価した。

前者の方式では、走行車線が基準車線（撮影時の車線）から離れるに従って視覚的違和感が増加し、2車線遷移時で平均スコアが約1.1悪化した。一方、後者の方式では逆に、2車線遷移時でスコアが約1.0減少しており、前者の方式よりも後者の方式の方が車線変更に対して自然な見えを与えていた。この理由としては、前者の方式における原理上の問題点である正面方向映像の処理や、仮定したシーンデプスと現実のシーンデプスのずれが影響したと考えられる。また、車線変更時は路面などの近景部分に意識が集中することから、後者の方式により車線変更効果の描画を省略しても意識されない可能性も考えられる。このように、首都高速道路のように複雑なシーンを描画する際は、簡易的な描画方式の方が却って有利となる可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計21件）

- ① K. Fukumoto, H. Kawasaki, S. Ono, K. Ikeuchi: "Vehicle Localization Method using Spatio-Temporal Image", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, Daejeon, Korea, 2014. 1. 13
- ② M. Kamali, S. Ono, K. Ikeuchi: "Detecting and Stabilizing Shaky Segments in Long Omnidirectional Videos of Streets", The 8th International Workshop on Robust Computer Vision, Daejeon, Korea, 2014. 1. 12
- ③ 杉町, 洪, 小野, 平沢, 鈴木, 中野, 大口, 須田, 木平, 横関: 「ドライビングシミュレータによる道路標識, 交通信号の安全運転への効果の評価」, 第22回交通・物流部門大会 (TRANSLOG2013), 東京, 2013. 12. 12
- ④ 若元友輔, 川崎洋, 赤木康宏, 子安大士, 小野晋太郎: 「圧縮テクスチャとビルボードによる広域3次元空間情報のレンダリングシステム」, 第153回グラフィクスとCAD研究会, 福岡, 2013. 11. 28
- ⑤ 鄭仁成, 洪性俊, 小野晋太郎, 平沢隆之, 中野公彦, 大口敬, 池内克史, 須田義大, 勘角俊介, 鈴木優: 「道路基盤地図情報を活用した交通安全対策の評価手法に関する研究」, 第30回日本道路会議, 東京, 2013. 10. 31
- ⑥ R. Zheng, S. Ono, S. Hong, K. Nakano, S. Yamabe, T. Hirasawa, H. Makino, Y. Suda, K. Ikeuchi, T. Oguchi: "Preliminary Evaluation of Road-Traffic Safety Countermeasures Utilizing National Digital Map in a Driving Simulator System", ITS World Congress, Tokyo, Japan, 2013. 10. 17
- ⑦ M. Kamali, S. Ono, K. Ikeuchi: "Detecting and Stabilizing Shaky Segments in Long Omnidirectional Videos of Streets", ITS World Congress, Tokyo, Japan, 2013. 10. 15
- ⑧ A. Kumar, T. Oishi, S. Ono, A. Banno, K. Ikeuchi: "Global Coordinate Adjustment of 3D Survey Models in World Geodetic System under Unstable GPS Condition", ITS World Congress, Tokyo, Japan, 2013. 10. 16
- ⑨ K. Fukumoto, H. Kawasaki, S. Ono, H. Koyasu, K. Ikeuchi: "On-Vehicle Videos Localization using Geometric and Spatio-temporal Information", ITS World Congress, Tokyo, Japan, 2013. 10. 16
- ⑩ 若元友輔, 川崎洋, 子安大士, 小野晋太郎: 「微小板に圧縮テクスチャ用いた広域空間の写実的レンダリングシステム」, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 大阪, 2013. 9. 19
- ⑪ K. Fukumoto, H. Kawasaki, S. Ono, H. Koyasu, K. Ikeuchi: "Identification of On-Vehicle Video by Using Space-Time Feature Extracted from Online Video and Digital Map", 第16回画像の認識・理解シンポジウム, 東京, 2013. 8. 1
- ⑫ 小野晋太郎, 薛亮, 阪野貴彦, 大石岳史, 佐藤啓宏, 池内克史: 「車載レンジセンサによる高速道路の長大トンネルの三次元モデリングと評価 - 高密度計測と絶対位置合わせ - 」, 電子情報通信学会技術研究報告 ITS 研究会, 札幌, 2013. 2. 19
- ⑬ L. Xue, S. Ono, A. Banno, T. Oishi, Y. Sato, K. Ikeuchi: "Global 3D Modeling and Evaluation for Long Highway Tunnel", The 7th International Workshop on Robust Computer Vision, Osaka, Japan, 2013. 1. 5
- ⑭ 鄭仁成, 小野晋太郎, 洪性俊, 中野公彦, 山邊茂之, 平沢隆之, 牧野浩志, 須田義大, 池内克史, 大口敬: 「道路基盤地図情報を利用したドライビングシミュレータによる道路交通安全対策の事前評価」, 第11回ITSシンポジウム, 愛知県長久手町, 2012. 12. 14

- ⑮ 福元和真, 川崎洋, 小野晋太郎, 子安大士, 池内克史: 「自車位置推定のための複数車載カメラ映像の効率的な時空間マッチング手法」, 第 11 回 ITS シンポジウム, 愛知県長久手町, 2012. 12. 14
- ⑯ M. Kamali, S. Ono, K. Ikeuchi: "Estimating Camera Motion and Road Width from Frontal-View Cameras", 第 11 回 ITS シンポジウム, 愛知県長久手町, 2012. 12. 13
- ⑰ アシユワニ クマール, 阪野貴彦, 小野晋太郎, 大石岳史, 池内克史: 「不十分な GPS 環境下における三次元地図モデルのグローバル位置合わせ」, 第 11 回 ITS シンポジウム, 愛知県長久手町, 2012. 12. 13
- ⑱ S. Ono, L. Xue, A. Banno, T. Oishi, Y. Sato, K. Ikeuchi: "Global 3D Modeling and its Evaluation for Large-Scale Highway Tunnel using Laser Range Sensor", 19th World Congress on Intelligent Transport Systems (Best Paper Award), Vienna, Austria, 2012. 10. 26
- ⑲ 小野晋太郎, 薛亮, 阪野貴彦, 大石岳史, 佐藤啓宏, 池内克史: 「高速道路における長大なトンネルの三次元計測と評価」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 浜松, 2012. 5. 29
- ⑳ 川崎洋, 河合由起子, 古川亮, 小野晋太郎, 池内克史: 「Web 上における大規模データの効率的構築および有効利用に関する試み」, 情報処理学会研究報告 コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 東京, 2012. 3. 15
- 21 薛亮, 小野晋太郎, 阪野貴彦, 大石岳史, 佐藤啓宏, 池内克史: 「車載レンジセンサを用いた長大トンネルの 3 次元モデリング」, 第 10 回 ITS シンポジウム, 東京, 2011. 11. 4

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 小野晋太郎, 阪野貴彦, 佐藤啓宏, 池内克史: (財) 日本建設情報総合センター、JACIC 情報 103 号, 2011, 「長大・複雑な道路トンネルの精細な三次元モデリング」, vol. 26, no. 3, pp. 22-27

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 晋太郎 (ONO, Shintaro)  
 東京大学・生産技術研究所・特任准教授  
 研究者番号: 80526799

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

池内 克史 (IKEUCHI, Katsushi)

東京大学・大学院情報学環・教授  
 研究者番号: 30282601

川崎 洋 (KAWASAKI, Hiroshi)  
 鹿児島大学・理工学研究科・教授  
 研究者番号: 80361393