

車載全方位ビデオ映像を用いたイメージベースレンダリングによるドライビングシミュレータの視覚特性に関するユーザ評価

永塚 遼^{*1*2} 小野 晋太郎^{*2} 川崎 洋^{*3} 池内 克史^{*2} In So Kweon^{*4}

東京大学大学院 情報理工学系研究科^{*1}

東京大学生産技術研究所 先進モビリティ研究センター (ITS センター)^{*2}

鹿児島大学大学院 理工学研究科^{*3}

Korea Advanced Institute of Science and Technology^{*4}

著者らはこれまで、実写画像ベースの IBR とポリゴンベースの MBR を組み合わせたドライビングシミュレータシステムを開発してきた。このシステムの持つ現実感に対してユーザスタディを行うことにより、実写画像を用いることが現実感にどのような影響を与えるのかということを確認する評価実験を行った。また、運転方法によって、ドライバーが感じる現実感、違和感に与える影響を調査した。それと共に、撮影経路からどの程度横にずれると、ドライバーが提示された見えに対して違和感を感じ始めるのかという限界点を探った。

User Evaluation concerning Visual Feature of Driving Simulator System based on Image-based Rendering Technique using Car-mounted Omni-video

Ryo NAGATSUKA^{*1*2} Shintaro ONO^{*2} Hiroshi KAWASAKI^{*3} Katsushi IKEUCHI^{*2} In So Kweon^{*4}

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo^{*1}

Advanced Mobility Center, Institute of Industrial Science, The University of Tokyo^{*2}

Department of Information Science, Kagoshima University^{*3}

Korea Advanced Institute of Science and Technology^{*4}

Abstract We have developed a driving simulator where Image-Based Rendering and Model-Based Rendering is combined. We investigated influence how does a reality of proposed system which using photographed images changes by user study. In addition, we researched influence on a reality and strangeness which driver feels by each driving operation. Furthermore, we investigated how long distance shifting from the taking a picture path driver feels strange to the presenting scene.

Keyword: *Driving Simulator, Image compression, Image-Based Rendering, Omni-directional image*

1. まえがき

近年、都市のような広域な空間をコンピュータに取り込み、仮想空間を生成する研究が、コンピュータビジョン (CV) やコンピュータグラフィックス (CG), バーチャルリアリティ (VR) などの分野で盛んに行われている。実際のシステムとして Google Earth (street view) や Virtual Earth, 広域空間のデジタルアーカイブなどのアプリケーションも提案・実用化されている。また、高

度交通システム (ITS) の分野でも、カーナビゲーションやドライビングシミュレータ、都市計画などの基礎技術として高い関心を集めている。

その一例として、ドライビングシミュレータに関する研究が近年盛んである。ドライバーの高齢化や、自動車に対する使用目的の多様化、車両性能の変化などから、ドライビングシミュレータに対する需要はますます高まっている。

一般的に運転教習所やビデオゲームなどで用いられているドライビングシミュレータは、幾何学形状のモデルをベースにした Model Based Rendering (MBR) で作られている。そういったドライビングシミュレータは現実感に欠け、樹木のような複雑な形状の物体や反射特性の複雑な物体をモデル化するのが困難であるといった問題がある。我々が開発したシステムでは実写画像を用いることにより、現実感が向上し、実際に運転している感覚に近づけることが出来ることが期待される。それに加え、ポリゴンを作る手間を省くことが出来るといったメリットも挙げられる。

大口ら^{1) 2)}は実写画像ベースの Image Based Rendering (IBR) によるドライビングシミュレータの室内模擬実験システムを提案し、このシステムを利用して、ドライバー挙動の計測を試みている。しかしながら、このシステムは撮影経路における見えしか提示できず、視点変更が出来ないといった問題があった。小川原ら³⁾は自由視点レンダリングによって、視点変更を可能にしたドライビングシミュレータを提案している。

また、入力として用いる画像データの大きさも問題点の一つである。佐藤ら^{4) 5)}は固有空間法などを用いた圧縮によって、見えの品質を保ったまま、元のデータを $\frac{1}{5}$ に圧縮できることを理論的に示した。しかし、理論的に示したにとどまっておき、さらに、経路が直線の場合のみに限った圧縮方法であるため、実用段階には至っていなかった。

我々は、道路の曲線部分におけるレンダリングなどの問題を解決し、実写画像を用いたドライビングシミュレータシステムを開発し、実現した。本論文では、このシステムの持つ現実感に対してユーザスタディを行うことにより、実写画像を用いることによって現実感に与える影響を確かめる評価実験を行った。また、運転方法によって、ドライバーが感じる現実感、違和感に与える影響を調査した。それと共に、撮影経路からどの程度横にずれると、ドライバーが提示された見えに対して違和感を感じ始めるのかという限界点を探った。

2. ドライビングシミュレータ概要

我々が開発したドライビングシミュレータシステムの全体像を Fig. 1 に示す。建物、空の部分は実世界のモデルコースを撮影して得た画像データを処理して描かれ、道路、車、標識などの部分は既存製品の一部をそのまま活用して、それぞれ独立に描かれる。

画像ベースの Image-Based Rendering (IBR) とポリゴンベースの Model-Based Rendering (MBR) の見えは、コンポジットと呼ばれるハードウェアにより、奥行き値を判定することで合成され、ドライバーはそれを見て運転操作を行う。運転操作はホストに帰還され、ホストから受け取った自己車両の位置・姿勢は次の描画処理に反映される。

また、IBR のデプスマップはレンダリング結果とは別に、道路構造に合わせた左右の板と、天井板の 3 枚の板で構成されるシーンを描画し、その奥行き値を利用する。このデプスマップと MBR の持つデプスマップ

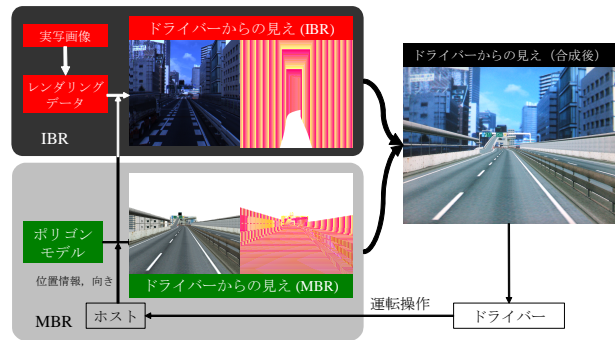


Fig.1 提案するシステムの全体像

をピクセルごとに比較し、どちらを描画するかを決定する。

2.1 自由視点レンダリング

自由視点からの見えは、走行経路上で撮影した全方位画像の一部をつなぎ合わせることで合成する。例えば Fig. 2 では、☆印の地点は撮影時には走行していないが、そこからの左方への見えは、それぞれ時刻 t_1, t_2, t_3 における全方位画像の左前方、左方、左後方の光線を参照してつなぎ合わせることで合成することができる。これにより、車線変更効果を再現することができる。

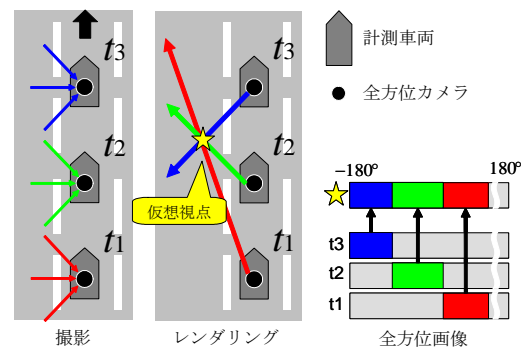


Fig.2 新しい視点からの見え生成

レンダリングデータの作成手順や IBR による遠景の再現方法など、本ドライビングシミュレータシステムの詳細については⁶⁾に示した。

2.2 円筒レンダリング

提案しているドライビングシミュレータのレンダリング方式 (Fig. 3) の他に、撮影してきた全方位画像をそのままテクスチャマッピングするレンダリング方式、円筒レンダリングが考えられる。円筒レンダリングにおいては撮影してきた全方位画像を円柱投影画像に変換し、変換した円柱投影画像をそのまま円柱にテクスチャマッピングする (Fig. 4)。

円筒レンダリング方式においては、車線変更を行うときに、車のヘディング角（車の進行方向が道路の進

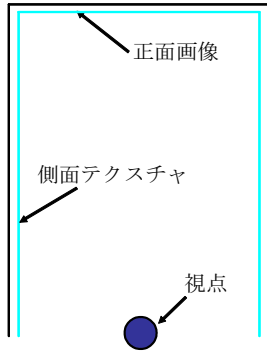


Fig.3 提案レンダリング方式

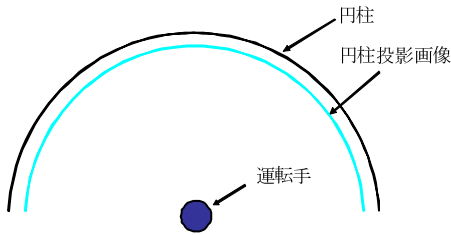


Fig.4 円筒レンダリング方式

行方向に対してなす角)に応じて、水平視角を変化させるが、横方向の移動効果(すなわち、側方の建物が迫り来るような見えの変化)は反映されない。車が正面を向いているときは、常に撮影画像と同じ見えをドライバーに提示する。つまり、提案手法のレンダリングの場合と違って、撮影経路外においては光線空間情報に基づいた正しい見えを提示することが出来ない。一方、MBRで描画する道路ポリゴン部分については正しく視差が出る。その一方、円筒レンダリングにおいては、提案しているレンダリング方式と違い、物体除去を行う必要がない。また、提案レンダリング方式に比べ、レンダリングに用いる画像の解像度が高いため、データ量が膨大になるという欠点も抱えている。

3. 実験方法

3.1 目的

実写画像を用いたドライビングシミュレータの持つ現実感に対して、ユーザスタディを行うことにより、その評価を行う。本実験では、遠景に実写画像を用いることによって、実際に道路を走行している感覚とどの程度近づき、ドライバーが感じる現実感、違和感に対する影響を図ることを目的とする。

3.2 実験環境

本実験で用いるドライビングシミュレータは Fig. 5 のような、ミニバン実車両のカットボディを使用する。実車両と同等の電動パワーステアリング装置やブレーキ装置を搭載しており、臨場感の高い運転をすることができる。また、速度を上げるとハンドルが硬くなる

といった運転挙動も再現されている。

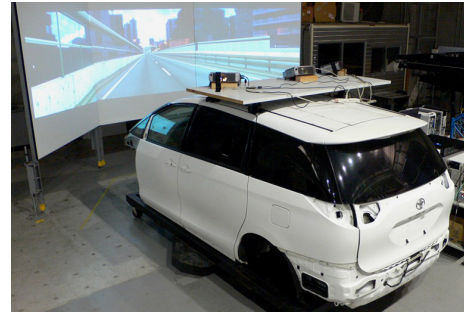


Fig.5 カットボディのシミュレータ

カットボディの前面に置かれた3つそれぞれのスクリーンに対して、IBRとMBRを合成した見えをプロジェクタから投影する。3つのスクリーンとドライバーとの位置関係を示した配置図は Fig. 6 の通りである。

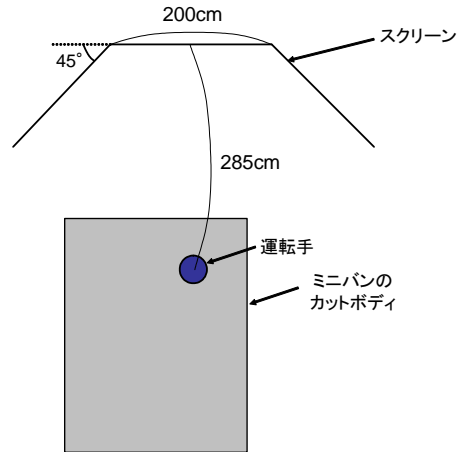


Fig.6 ドライビングシミュレータ配置図

3.3 実験対象区間

本実験においては首都高4号線を使用した。実験対象区間を首都高4号線にした理由は、本手法が自由視点レンダリングの際に、側面の建物までの奥行きを仮定しており、高速道路においては、道路と建物が並走しており、建物の側面が同一平面上にあることが多く、非常に適していると考えられるためである。

今回の実験では、首都高4号線の直線部分のうち、Fig. 7の赤線部に示した2箇所(新宿～参宮橋の左急カーブ前、千駄ヶ谷～信濃町トンネル前)を撮影した画像シーケンスを用いた。どちらの直線部分を使用するかについては、被験者ごとに変更した。

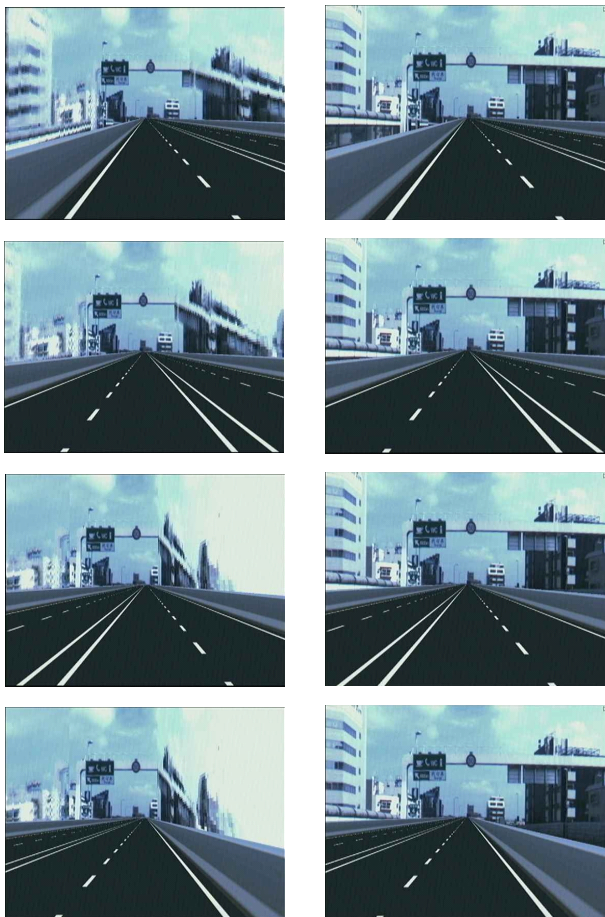
この画像シーケンスを用いて作成したレンダリングデータと直線道路が4車線ある道路ポリゴンを合成し、その見えをドライバーに提示する。

新宿付近の画像をレンダリングデータにしたものと4車線の道路ポリゴンを合成したものを各車線から見



Fig.7 実験対象区間（首都高4号線）

たときの正面方向の合成画像を Fig. 8 に示した. 左図が提案レンダリング方式を用いた場合, 右図が円筒レンダリング方式を用いており, 上から第1車線, 第2車線, 第3車線, 第4車線からの合成時の見えを示している. 提案レンダリング方式における基準車線は第1車線に定めており, そこから右にずれると, 自由視点レンダリングによって見えを生成する. 円筒レンダリング方式では, 車線位置によらず, 車が正面を向いているときは, 常に撮影画像と同じ見えをドライバーに提示する.



(a) 提案レンダリング方式 (b) 円筒レンダリング方式

Fig.8 各車線から見た合成画像（新宿～参宮橋）

3.4 実験手順

本実験には, 男性4名, 女性1名の計5名の大学院生に被験者として協力していただいた.

実験を行うにあたって, 被験者に実際の車で同じ道路を走行して, それとドライビングシミュレータでの見えと比較して, 現実感の評価を行うことは困難である. そのため, 実験前に走行風景動画を被験者に見てもらい, 実際の走行をイメージしてもらった. その後, MBRの道路ポリゴンのみで1, 2回の走行練習を行ってから, 本実験を開始した.

ドライビングシミュレータで走行してもらった被験者にアンケートを取って, 実際に道路を走行している感覚とどの程度近いかということを1~5の5段階のスコアで評価した. 違和感を感じれば低いスコアを, 特に違和感を感じなければ高いスコアをつけてもらった. 提案レンダラーの走行する際には, 画像の基準となる基準車線 (撮影時と同じ経路の見えが生成される車線) を道路ポリゴンの第1車線か第4車線かのいずれかに定めた.

被験者に以下の7つの走行パターンで走行してもらうよう指示を行う.

- (1) 第1車線を直線走行.
- (2) 第2車線を直線走行.
- (3) 第1車線と第2車線との往復を2回繰り返す.
- (4) 第3車線を直線走行.
- (5) 第2車線と第3車線との往復を2回繰り返す.
- (6) 第4車線を直線走行.
- (7) 第3車線と第4車線との往復を2回繰り返す.

提案レンダリング方式での走行を行う際には, 基準車線を第1車線と第4車線で入れ替えた2パターンを走行する. これに円筒レンダリング方式での走行を加えた3つのシチュエーションをそれぞれの走行パターンで走ってもらう. 基準車線と異なる車線を直線走行する場合と, 車線変更を行う場合との違いは, 車線変更による見えの変化の効果が一定か, 連続的に変化するかの違いである. 順序効果を打ち消すために, 基準車線や使用するレンダリング方式については被験者ごとにランダムとした. ただし, 走行パターンの順序については全ての被験者に対して上記の通りにした. また, 最初の走行 (提案レンダリング方式を用いて第1車線基準で第1車線を直線走行 or 提案レンダリング方式を用いて第1車線を直線走行) のスコアは必ず3としてもらう. その後のスコア評価はそこからの相対評価によって, 1~5のスコアで評価してもらった.

計21回の走行を終えた後, MBRのみのドライビングシミュレータを走行してもらう. 実験に使用した4号線の箇所と同じ箇所を, 道路も周りの建物もポリゴンで作られたドライビングシミュレータで走行し, 実写画像を用いたドライビングシミュレータと比較したときの感想を自由記入欄に記入してもらった.

最後に, 実写画像を用いたドライビングシミュレータを走行した感想や, 実験全体に対する感想を自由記入欄に記入してもらった.

4. 実験結果

4.1 レンダリング方式の比較

スコアを集計する際には、全ての被験者の提案レンダリング方式で、基準車線上を直線走行したときの平均スコアを0とし、他の走行パターンにおける平均スコアをそれに合わせて加減した。例えば、基準車線上を直線走行したときの平均スコアが3.5で、他の走行パターンの平均スコアが4だった場合は、その平均スコアを0.5とする。

提案レンダリング方式を用いた走行パターンに対する平均スコアをFig.9に、円筒レンダリング方式を用いた走行パターンに対する平均スコアをFig.10に示した。Fig.9, 10では、基準車線から n 車線左ずれた走行パターンと、 n 車線右ずれた走行パターンを基準車線 $+n$ として統合している。

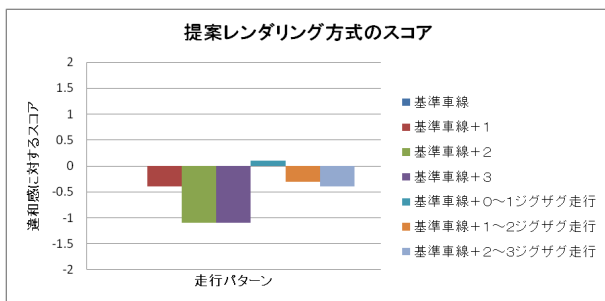


Fig.9 提案レンダリング方式のスコア

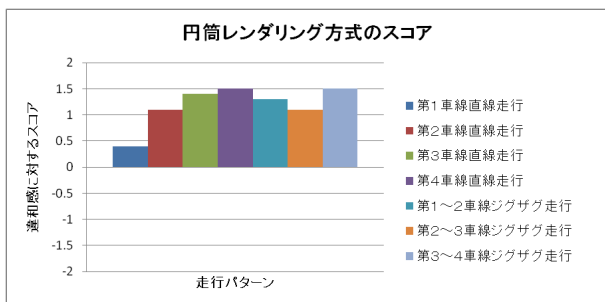


Fig.10 円筒レンダリング方式のスコア

提案レンダリング方式では、走行車線が基準車線から離れるに従って、自由視点レンダリングによって生成された画像に対して違和感を感じ、スコアが下がる様子が見受けられた。また、車線変更を行ったときは、直線走行に比べ、違和感が低減したという結果が見られた。これはドライバーが車線変更の操作のためにMBRの道路ポリゴンの方に視線が行き、周りの風景への意識が薄れたためであると考えられる。

円筒レンダリング方式のIBRは走行車線によらず、常に同じものを使用している。第1車線を走った時だけ、スコアが低い理由としては最初の第1車線走行時のスコアを3に固定しているケースがあるためであり、

それ以外の車線を走行した場合においては、一様に高いスコアが得られた。

提案レンダリング方式の平均スコアは2.54、円筒レンダリング方式の平均スコアは4.19であった。提案レンダリング方式のスコアが円筒レンダラーのスコアよりも低い理由としては以下の2つの理由が考えられる。

1. 側面のテクスチャに圧縮をかけているため

側面テクスチャデータを作る際に、側面に透視投影した画像を一定のサンプリング間隔でブロック画像に分割してから、固有空間法を用いた圧縮を行っているため、そこから復元したテクスチャは少なからず元画像から画質の低下が起こっている。さらに、提案レンダリング方式においては、自由視点レンダリング時に側面の奥行きを仮定している。実際の首都高では、道路と併走している建物がほとんどないケースが多くあり、そのような建物についてはレンダリング結果に乱れが生じる。さらに、仮定した奥行きにある建物でも、測定車両の進行方向と垂直な面のレンダリングは、その仮定から外れるため、レンダリング結果に乱れが生じる。

2. 正面画像と側面画像の整合性が取れていないため

これについても仮定した壁構造から外れる物体が実際の画像シーケンスに多いことから起因している。そこから正面画像と側面画像の物体の出現タイミングにズレが生じ、それがドライバーに対して違和感を与える原因となっている。

4.2 実写画像を用いることによる現実感への影響

被験者にMBRのみのドライビングシミュレータで走行してもらった感想を伺ったところ、実写画像を用いない、ポリゴンのみのドライビングシミュレータの方が現実感が高いという感想が、5人中3人から返ってきた。この理由としては以下の3つが考えられる。

1. 実写画像取得時のサンプリング間隔が広い

現在、画像の取得に使用している全方位カメラLadybug3では、15fps程度のフレームレートで撮影を行っている。首都高を時速60kmで走りながら、このカメラで撮影を行うと、およそ4.2mおきの間隔でサンプリングを行っていることになる。サンプリング数を上げるためには、撮影してきた画像の補間を行うことか、撮影時に速度を落とすことが最も安易な解決法である。

2. 画質が低く、色合いが実際の風景と異なるため

現在用いている全方位カメラの解像度は5400 × 2700の解像度で取得している。今後カメラが高性能化し、取得画像の解像度が上がれば、この点については解決できる可能性がある。

3. 測定時の車両の揺れが画像の揺れとして現れてしまうため

高速道路には道路の継ぎ目が一定間隔に置かれており、主にそれによる揺れが画像の揺れとなって現れてしまう。本測定車両には車両とカメラとの間に揺れを吸収するための装置を設置しているが、

それだけでは不十分であった。今後、画像処理によるアプローチからこの揺れを除去する方法を考える必要がある。

5. まとめ

本論文では、このシステムを持つ現実感に対してユーザスタディを行い、実写画像を用いることによって現実感に与える影響を確かめる評価実験を行った。その結果、今回の実験では、提案手法である固有空間法を用いた圧縮と自由視点レンダリングを合わせたレンダリング方式よりも、全方位画像を円柱投影した画像をそのまま円柱に貼り付けるレンダリング方式の方がドライバーが感じる違和感が少ないということが示された。さらに、実写画像を用いたドライビングシミュレータがポリゴンのみドライビングシミュレータよりも現実感が下がると感じた被験者が少なからずいた。その原因を分析し、今後のための提案手法の改善法について考察した。解像度やフレームレートなどの撮影デバイスの性能向上や撮影画像の揺れ取りの実装などにより、今後、提案手法を持つ現実感が向上する余地は十分にある。

今回の実験では首都高4号線の画像シーケンスを用いて実験を行ったが、周りの建物が多く、また測定車両と建物の側面との距離が小さい場合においては、実験結果が大きく変わるということが予想される。そのため、建物との距離が近い一般道において同様のユーザスタディを行い、どのような結果が得られるのかについて今後検証する予定である。

謝辞

本研究の一部は、国土交通省国土技術政策総合研究所委託「ドライビングシミュレータ等を活用したITSサービス評価に関する研究」、および科研費22241037の支援により行われた。

参 考 文 献

- 1) 片倉, 大口, 鹿田: “動景観画像実験装置の開発”, 土木学会年次学術講演会概要集, No.57-4 (2002).
- 2) 太田, 片倉, 大口, 鹿田: “交通安全施設がカーブ区間の運転挙動に及ぼす影響”, 土木計画学研究・講演集, No.26 (2002).
- 3) S. Ono, K. Ogawara, M. Kagesawa, H. Kawasaki, M. Onuki, K. Honda, and K. Ikeuchi, “Development of Photo-Realistic and Interactive Driving View Generator by Synthesizing Real Image and Artificial Geometry Model,” *International Journal of ITS Research*, Vol.3, 1, pp.19–27 (2005).
- 4) 佐藤, 三上, 川崎, 小野, 池内: “IBRに基づいた仮想都市のリアルタイムレンダリングおよびデータ圧縮の効率化手法の提案”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2007), pp.1087–1092 (2007).
- 5) 佐藤, 小野, 永塚, 川崎, 池内: “車載全方位ビデオ映像を用いたイメージベースレンダリングによるドライビングシミュレータの提案” パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU) (2009).
- 6) 永塚, 小野, 川崎, 池内, In So Kweon: “車載全方位ビデオ映像を用いたイメージベースレンダリングによるドライビングシミュレータの開発” ITSシンポジウム (2010).