

複合現実交通実験空間のためのドライバ周辺環境画像構築システム

小野 晋太郎 *1*2 小川原 光一 *2 影沢 政隆 *2 川崎 洋 *3 大貫 正明 *4
本多 建 *4 見持 圭一 *4 坂井 繭美 *4 辻 求 *4 池内 克史 *2

東京大学 情報理工学系研究科 *1
東京大学 生産技術研究所 *2
埼玉大学 工学部 *3
東京大学 国際・産学協同研究センター *4

論文概要：我々が現在開発を進めている「複合現実交通実験空間」の一部である画像構築システムについて述べる。このシステムは従来の交通・ドライブシミュレータを統合・拡張して交通流の変化や自車両・他車両の動きを実際の挙動と同じように再現するほか、実写画像の合成により現実感の高いビューをユーザに提供することを目指している。我々は画像ベースの見えと幾何ベースの見えを使い分けながら合成することで、幾何ベースにおける現実感のなさや膨大な開発コスト、画像ベースにおける処理コストの問題を現実的なレベルで解決する。以下では主として複数カメラにより実写画像データを構成する手法、およびそのデータからビューを実時間で構成する手法について述べる。

Image Generation System for Mixed-Reality Traffic Experiment Space

Shintaro Ono *1*2 Koichi Ogawara *2 Masataka Kagesawa*2 Hiroshi Kawasaki *3 Masaaki Onuki *4
Ken Honda *4 Keicchi Kenmotsu *4 Mayumi Sakai *4 Motomu Tsuji *4 Katsushi Ikeuchi *2

Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo*1
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo*2
Faculty of Engineering, Saitama University*3
Center for Collaborative Research, The University of Tokyo*4

Abstract: In this paper, we propose an efficient and effective image generation system for “Mixed Reality Traffic Experiment Space”, an enhanced driving/traffic simulation system which we have been developing for Sustainable ITS project at the University of Tokyo. Conventional driving simulators represent their view by a set of polygon-based objects, which leads to less photo-reality, and furthermore such system needs huge human costs for dataset construction. We introduce our image/geometry-based hybrid method to realize more photo-realistic view with less human cost at the same time. Images for datasets are captured from real world by multiple video cameras mounted on a data acquisition vehicle. And the view for the system is created by synthesizing the image dataset. Following contents mainly describes the details on data acquisition and view rendering.

Keyword: Image-based rendering, Driving simulator, Mixed-reality traffic environment

1 はじめに

計算機上の仮想空間内に三次元の都市空間モデルを構築する試みは、コンピュータビジョンやコンピュータグ

ラフィクス、複合現実感や仮想現実感、またリモートセンシングや建築など、さまざまな領域において非常に興味深い研究対象となっている。また、このようなモデルは都市計画や景観シミュレーション、防災、高度交通シ

システムなど幅広い分野に応用されることが期待されている。

2003年4月以来、我々は東京大学国際・産学協同研究センターの産官学連携「サステイナブルITSプロジェクト」[1]として、「複合現実交通実験空間 (Mixed Reality Traffic Experiment Space)」と称する新しい複合現実シミュレーションシステムの開発を行ってきた。これは、従来のドライブシミュレータの枠組みを拡張し、交通シミュレータから得られるマクロな交通流の変化と力学に基づいた自車両・他車両のミクロな挙動を統合して現実と同じように再現することを目指すほか、ユーザの視点からの見えも実写画像をもとに合成した現実感の高いものをリアルタイムに提供することを目指しており、実際に首都高速道路3号線をモデルシーンとして開発を進めている。

このシミュレータにおいてユーザに提供すべき見えは、地上からの仮想都市空間モデルの見えに他ならない。一般にこのような空間モデルを構成する手法としては、主に対象となるオブジェクトの幾何情報と(場合によっては)表面反射属性を利用して見えを生成する「ジオメトリベース(ポリゴンベース)」の手法と、あらかじめ蓄積しておいた実画像を処理して再構成することで新たな見えを合成する「イメージベース」による手法が知られている。

従来から自動車教習所や鉄道会社などに見られたドライブシミュレータでは、ユーザに提供される周辺環境画像は図1のようにすべてジオメトリベースにより構成されていた。ジオメトリベースのモデルはデータサイズが比較的コンパクトであるが、その現実感は低い。また、幾何モデルそのものの構築にも人手に頼っている部分が大きく、膨大な開発コストを招く一因となっている。

イメージベースによる手法では、扱うデータのサイズは大きくなるものの、その見えは非常に現実感の高いものを得ることができる。我々が開発を進めている複合現実交通実験空間では将来的に人間の運転操作における認知・判断などにかかわるパラメータを収集することも目指しており、その点でも現実感の高い見えを提供することは不可欠である。一方で、イメージベースによる手法では、他車両や歩行者など別のオブジェクトを動的に発生させるといったインタラクティブな利用には適していない。

そこで我々は、ジオメトリベースのモデルとイメージ



図1: ジオメトリベースによるドライブシミュレータのドライバ周辺環境画像

ベースのモデルをその役割に応じて使い分け、合成することによって各々の手法の欠点を補完し、利用価値の高い見えをリアルタイムにユーザに提供する手法を提案する。具体的には、道路やガードレール、他車両などが含まれる近景部分はジオメトリベースにより、建物や空などの遠景部分はイメージベースにより構成する。

本論文の構成は以下のとおりである。2章では複合現実交通実験空間全体の概要を述べる。次に3章で、周辺環境画像の元データとなる実写画像の取得と構成について述べる。続いて4章で周辺環境画像を合成して提供する手法を示し、6章でまとめとする。

2 システムの概要

2.1 全体

複合現実交通実験空間は、従来の交通シミュレータ・ドライブシミュレータを拡張し、更に以下のような様々なモジュールを統合して構成されている。

- Traffic Simulator (TS; マクロ交通シミュレータ [2])
- KAKUMO (ミクロ交通シミュレータ [2, 3])
- Driving Simulator (DS; ドライブシミュレータ [3])
- Image Generator (IMG; 画像生成部)

TSは、ノードとリンクのグラフ構造からなる道路ネットワークモデルと交通量のパラメータからマクロな交通流のシミュレーションを行うモジュールである。

DSは、ユーザのハンドル・アクセル・ブレーキ操作から車両の運動力学モデルに基づいて自車両のミクロな動きを再現するモジュールである。自車両の運動は運転席の動きとしてユーザに伝えられる。

KAKUMO は、TS の出力として与えられたマクロな交通流から、道路上の各車両のミクロな動きをシミュレートするモジュールである。各車両は他車両との位置関係や速度に応じて車線や速度を変更する。

IMG は自車両および他車両の位置・姿勢からユーザの周辺環境画像をリアルタイムに構成し、提供するモジュールである。詳細は次節に述べる。

このようなシステム構成により、TS のネットワーク内で仮想的に運転のシミュレーションを行うことができる。図 2 にシステムの概観を示す。



図 2: 複合現実交通実験空間

この複合現実交通実験空間は、実在する道路を走行の舞台として仮想的に扱うことができる。現在のプロトタイプシステムでは、首都高速道路 3 号渋谷線 渋谷～三宅坂間をモデルコースとしている。

2.2 IMG: Image Generator

ここでは IMG 部分をより詳細に述べる。IMG がユーザに提供する見えは地上から見た仮想都市空間のモデルに他ならない。このようなモデルにはジオメトリベースとイメージベースの手法があることは 1 章に述べた。

我々が開発しているシステム全体におけるそれぞれの手法の適性を考えると、リアルタイム性や他車両など他のオブジェクトとのインタラクションの再現という観点からはジオメトリベースが有利であり、写実性やユーザに与える現実感の観点からはイメージベースが有利である。そこで、我々はこの両者を目的によって使い分け、表示の段階で合成する手法を提案する。具体的には図 3 ように、近景と遠景で使い分けを行う。

- 近景：ジオメトリベース
- 遠景：イメージベース

近景部分には道路やガードレール、防音壁、標識、信号、他車両などが含まれる。これらの表示系については、

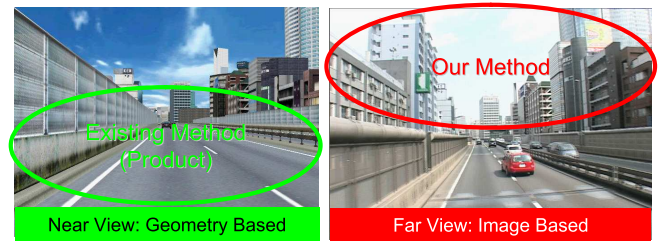


図 3: 近景と遠景によるモデル表現の使い分け

三菱プレジジョン社の製品である DS 部において既存の技術で実現されているものをそのまま利用する。このシミュレータは自車両および他車両の動きを 60Hz のレートでリアルタイムに再現することができる。

遠景部分には周辺の建物や空などが含まれる。これらの遠景画像は対象となる道路を実際にデータ計測車両で撮影しながら走行し、あらかじめ画像データセットとして蓄積しておく。撮影には複数台のカメラを用い、計測車両の視点からの全方位画像（または前方半方位画像）を合成しておく。走行経路上の各点において全方位の画像を取得しておくことにより、走行経路外からの見えを後に画像処理によって合成することが可能となる。この周辺環境画像の合成は、DS 部から得られる自車両の位置・姿勢情報からリアルタイム・動的に行われる。

このようなハイブリッドな手法により、両者の利点を生かした見えを生成することができる。また、新たな対象道路における走行シーンを生成する場合でも、人手に頼っている部分の大きい幾何モデルの構築処理は近景の路上部分のみで済み、開発コストの肥大化を抑えることができる。

以下、3 章では周辺画像データの取得、4 章ではレンダリングについて詳細を述べる。

3 周辺環境画像データの取得

ユーザに提供する周辺環境画像は実際に対象となる道路を撮影用車両で走行して取得し、処理をして与える。図 4 に撮影用車両を示す。屋根上には 9 台のビデオカメラが設置されており、これらの画像を統合することにより全方位画像を生成する。後述のように、走行経路上からの見えを全方位画像として残しておくことにより、走行経路外からの見えを画像処理によって合成することができる。したがって、撮影走行は一度だけで充分である。

カメラの光学中心が今回のように一致していない場



図 4: 周辺環境画像収集車両

合, これらの画像を統合すると, 一般に対象物の奥行きによって統合画像の境界部分にひずみが発生することが知られている. 本手法では [4, 5] の手法を利用し, 個々のカメラを進行方向に対して平行に一直列に並べて図 5 のように時間差をつけて光学中心を一致させることでひずみの発生を防いでいる. 個々の画像を全方位画像に統合するためには, 各カメラ間のキャリブレーションを行う必要がある. このうち回転移動成分については画像中の建物などのエッジから消失点を利用して求めた. また平行移動成分は, 各カメラの高さおよび左右位置は一直列に並んでおり等しいと仮定する. 各カメラの間隔についてはそれぞれのカメラから得られる EPI (画像中のある水平 1 ラインだけを取り出し, フレーム毎に並べた画像) どうしの二次元マッチング (図 6) により取得する. 図 7

に複数カメラの統合を行って得られた全方位画像の例を示す. これは図 1 と同じ場所である. なお, 今回のシステムでは後方部分はレンダリングには使用しないため, 全方位ではなく前方半方位としている.

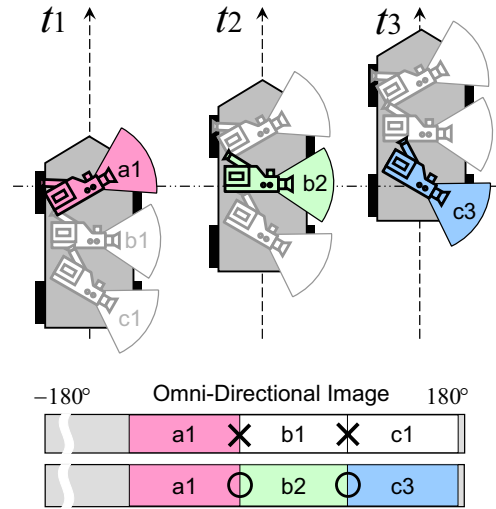


図 5: 時空間的な光学中心の一致

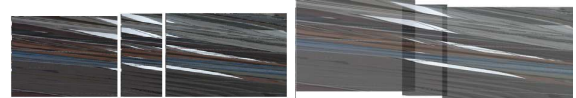


図 6: EPI マッチング



(a) 統合前 (中央上部は地図)



(b) 統合後

図 7: 全方位画像 (前方半方位画像)

4 ユーザ視点からの見えの構築

4.1 任意視点画像合成の基本概念

撮影車両の走行経路上からの見えを全方位画像として残しておく、その経路外からの見えは図8のように他の時点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ことができる [6]。例えば図8では、

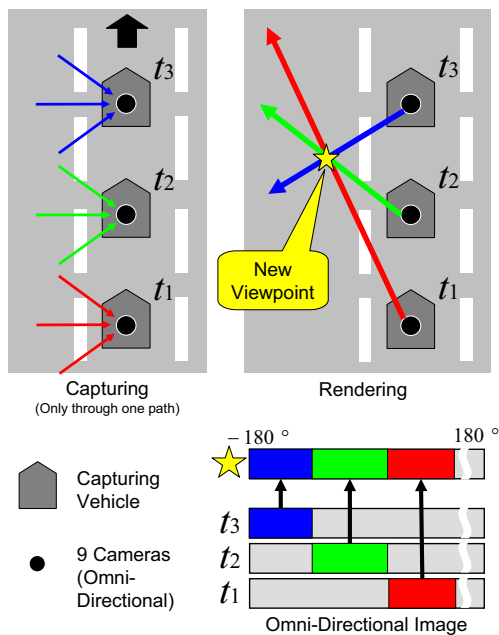


図8: 新しい視点からの見え生成

星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, 左後方の見えから合成することができる。

この処理は実際には図9のように近景と遠景の境界部分に仮想的な「板」を設け、この面上にテクスチャを貼り付けることで実現する。板面は垂直なスリットに分かれており、スリット毎に適当な地点から撮影された全方位画像の一部が貼り付けられる。このテクスチャはドライブシミュレータの自車両位置が変わるたびに動的に更新される。また、テクスチャの貼り付け面は常に視線方向を向くように回転させる (図10)。

4.2 高速化

テクスチャの更新はドライブシミュレータの自車両位置が変わるたびにを行う必要がある。車両位置の更新レートは本来のジオメトリベースによる DS 部で 60Hz, 他車両位置のシミュレーションモジュールである KAKUMO

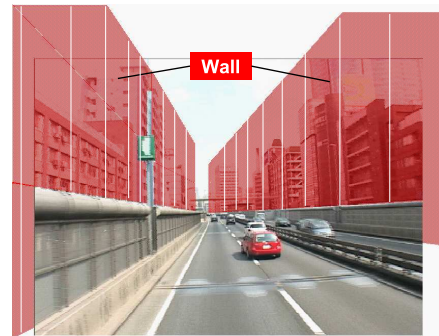


図9: 仮想的な板

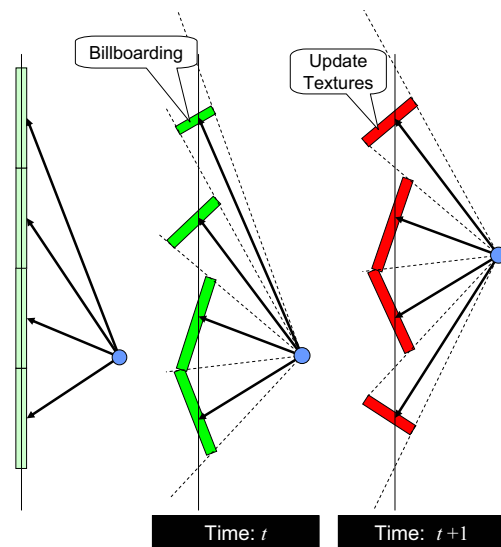


図10: テクスチャの更新

部の出力で 20Hz である。しかし、前節の処理を毎回行ってグラフィックハードウェアに読み込ませると時間のロスが非常に大きい。

そこで、板面上のスリット毎に、あらゆる方向からの見えをあらかじめデータセットとしてメモリに保持しておき、必要に応じて呼び出す手法をとる。図11にデータセットのイメージを示す。

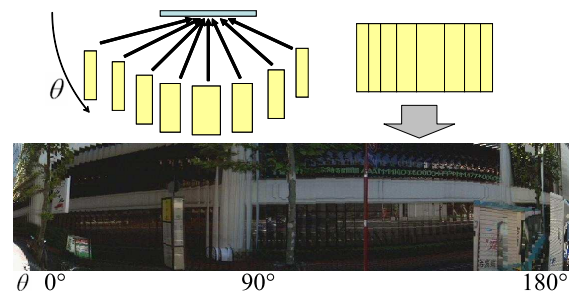


図11: テクスチャデータセット

走行対象区間全体にわたってデータセットをメモリに収めておくことは不可能であるため、複数のマシン毎に処理担当区間を割り当ててテクスチャの生成を行う。担当区間の表示を終えたマシンには新たな担当区間を割り当て、その部分のデータセットを先読みさせる。

4.3 品質の向上

テクスチャ貼り付け面上のデータセットにはその面の各方向からの見えが収められているが、この方向は離散的にしか生成することができない。これは、撮影時のビデオカメラのフレームレートが有限であるため、全方位画像が走行系路上で離散的に存在していることによる。データセットが保持している特定の2方向の中間に相当する見込み角からの見えが要求された場合は、それらのテクスチャをアルファブレンディングによって補完することにより表示品質を向上させる。

4.4 システム全体の出力

図 12 に IMG 部のハードウェア構成を示す。イメージベースである遠景部分の処理は複数台のマシンによって行う。処理部からはピクセルごとにカラー値と奥行き値が出力される。これらの出力は三菱プレジジョン社の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考慮してピクセル毎のカラー値が決定され、プロジェクトアを通じてユーザ前のスクリーンに投影される。

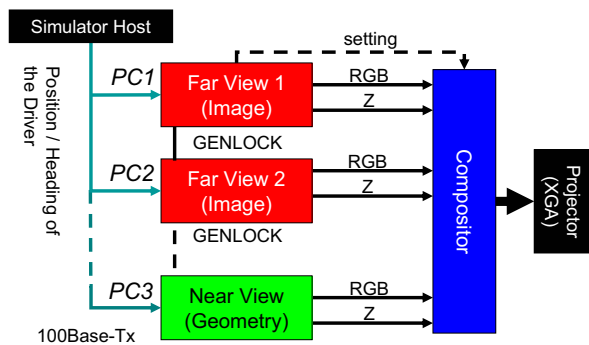


図 12: IMG 表示系のハードウェア構成

今回のシステムで遠景部分の表示処理に用いたマシンのスペックは以下の通りである。

- CPU: Intel Pentium4 2.80C GHz
- グラフィックボード: QuadroFX3000G
- メモリ: 2GB
- OS: Windows XP

5 結果

図 13 にイメージベース部分の表示結果を示す。図 1 と比較しても非常に現実感の高い画像をユーザに提供することができる。視点も図 14 のように自由に変更することができる。また、フレームの更新レートも 60Hz で問題なく動作することを確認している。



図 13: イメージベース部分の表示 (走行経路上の視点, 正面)



(a) 走行経路から右にずれた視点, 左 45° 方向の見え



(b) 走行経路から左にずれた視点, 右 45° 方向の見え

図 14: 視点変更の例

また、図 15 にコンポジットを通じてイメージベース部分とジオメトリベース部分を合成した結果を示す。イメージベース部分の仮想壁よりも手前にある道路部分はジオメトリベースによって表示されたものである。これにより、高い現実感と他車両の動きなどのインタラクションを同時に実現することができる。



図 15: イメージベース（遠景）とジオメトリベース（近景）の合成結果

6 おわりに

本稿では、我々が「サステイナブル ITS プロジェクト」の一環として開発に取り組んでいる複合現実交通実験空間の一モジュールであるドライバ周辺環境画像の構築システムを紹介した。このシステムは、ジオメトリベースの見えと実写にもとづくイメージベースの見えをそれぞれの適性にあわせて近景と遠景で使い分けることにより、ユーザに現実感が高く利用価値の高い見えを提供する。

イメージ部分は、全方位映像を利用することによりある特定の経路を走行しながら撮影するだけで任意視点からの見えを合成することが可能である。合成処理はほぼ自動化されている。

ジオメトリ部分の構築処理は人手による部分が大きいものの必要なのは道路部分のみでよく、従来よりも開発コストを抑えることができる。

2004年の愛知名古屋 ITS 世界会議・ITS シンポジウムではこの複合現実交通実験空間のデモを行い、見学者に実際にシステムを体験していただく予定である。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会の支援により行われた。

参考文献

- [1] M. Kagesawa et.al, “Sustainable ITS Project”, Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services (ITSWC 2004), Nagoya, Japan, Oct. 2004
- [2] T. Shiraishi et.al, “Development of a Microscopic Traffic Simulation Model for Interactive Traffic Environment”, Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services (ITSWC 2004), Nagoya, Japan, Oct. 2004
- [3] Y. Suda, M. Onuki, T. Hirasawa, H. Ishikawa, M. Kano, Y. Mashiyama, T. Oda, A. Tagaya, T. Taguchi, Y. Kanki, “Development of driver model using driving simulator with interactive traffic environment”, Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services (ITSWC 2004), Nagoya, Japan, Oct. 2004
- [4] H. Kawasaki, A. Miyamoto, Y. Ohsawa, S. Ono, K. Ikeuchi, “Multiple video camera calibration using EPI for city modeling”, Proc. Asian Conference on Computer Vision (ACCV 2004), Jeju Island, Korea, Jan. 2004
- [5] 小野 晋太郎, 川崎 洋, 影沢 政隆, 池内 克史, 坂内 正夫, 「EPI 解析を利用した画像統合による都市空間のイメージベースレンダリング」, 第 2 回 ITS シンポジウム, Dec. 2003
- [6] T. Takahashi, H. Kawasaki, K. Ikeuchi, M. Sakauchi, “Arbitrary view position and direction rendering for large-scale scenes”, Proc. Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2000), Hilton Head Island, US, Jun. 2000