

実写画像の合成による運転シミュレーション映像の構築

小野晋太郎[†] 小川原光一^{††} 影沢 正隆^{†††} 川崎 洋^{††††} 大貫 正明^{†††††}

あべ木順一^{†††††} 矢野 徹^{†††††} 練尾 正美^{†††††} 本多 建^{†††††} 池内 克史^{†††††}

[†] 東京大学情報理工学系研究科 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Ee-405

^{††} 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Ee-405

^{†††} 東京大学情報学環 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 Ee-405

^{††††} 埼玉大学工学部 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

^{†††††} 三菱プレシジョン株式会社 〒247-8505 神奈川県鎌倉市上町屋 345

^{††††††} 株式会社長大 〒114-0013 東京都中央区日本橋蛸殻町 1-20-4

E-mail: †{onoshin,ogawara,kagesawa}@cvl.iis.u-tokyo.ac.jp

あらまし 画像ベースの描画による現実感の高い運転シミュレーション映像の構築システムについて述べる。従来、ドライブシミュレータの「見え」は完全に幾何ベースで描画されており、低い現実感やモデルの作成コストが問題点であった。本システムではこの背景部を実写ベースに置き換える。実写画像データにはモデルコース（公道）に沿って一度だけ撮影した全方位動画画像を使用し、道路脇に仮定した2枚の仮想壁上のテクスチャを更新することで背景部の見えを構成する。路面上の見えは汎用性を考慮して従来どおり幾何ベースで描画する。本システムは産官学連携プロジェクト「サステイナブル ITS」において、交通・ドライブシミュレータの統合・拡張形である「複合現実交通実験空間」の画像生成部として機能する。

キーワード ITS, イメージベースレンダリング, 実写映像, 任意視点画像, 運転シミュレーション

Construction of Driving-Simulation View by Synthesizing Real Video Images

Shintaro ONO[†], Koichi OGAWARA^{††}, Masataka KAGESAWA^{†††}, Hiroshi KAWASAKI^{††††},

Masaki ONUKI^{†††††}, Junichi ABEKI^{†††††}, Toru YANO^{†††††}, Masami NERIO^{†††††}, Ken

HONDA^{††††††}, and Katsushi IKEUCHI^{†††}

[†] Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo Ee-405 Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505 JAPAN

^{††} Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

^{†††} Graduate School of Interdisciplinary Information Studies, The University of Tokyo

^{††††} Faculty of Engineering, Saitama University 255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi 338-8570 Japan

^{†††††} Mitsubishi Precision Co., Ltd. 345 Kamimachiya, Kamakura-shi, Kanagawa 247-8505 JAPAN

^{††††††} Chodai Co., Ltd. 1-20-4 Nihombashi-Kakigaracho, Chuo-ku, Tokyo 114-0013 JAPAN

E-mail: †{onoshin,ogawara,kagesawa}@cvl.iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract We propose an efficient and effective view generation system for more photo-realistic driving simulation by using image-based rendering for landscape scene, in contrast to conventional product represented by full geometry-based rendering with poor reality and huge cost for model construction. As for the image dataset, we capture omni-directional video image through the model course, a public road, with multiple video cameras on our data acquisition vehicle. The capturing run is carried out only once. We assume two flat walls along both side of the road, and the the view for the landscape scene is realized as dynamic textures on the wall by synthesizing captured images. On-street scene is still rendered by geometry base for versatility such as overlaying other vehicles. The system works as a module of “Mixed-Reality Traffic Experiment Space”, an enhanced driving and traffic simulation system developed in the collaborative research project “Sustainable ITS”.

Key words ITS, Image-based rendering, Real-world image, Arbitrary viewpoint image, Driving simulation

1. はじめに

コンピュータ技術の発展とともに、コンピュータビジョンやコンピュータグラフィクス、仮想現実感や複合現実感の分野では画像ベースレンダリング (Image-Based Rendering; IBR) と呼ばれる手法が多く用いられるようになってきた。この手法は、仮想的なオブジェクトを構成、あるいは表現・描画する方法の一つであり、あらかじめカメラなどによって取得・蓄積しておいた対象の実画像を処理して任意の視点からの見えを合成することでその対象を表現するアプローチである。表現するデータ源として実画像を用いているため、その見栄えは非常に現実感が高い一方で、計算処理に時間がかかり、また画像データの保持にも大きなメモリ空間を必要とするともあって、比較的近年になって盛んに研究が行われてきた。

画像ベースレンダリングと対照的なアプローチが幾何ベース (ポリゴンベース) レンダリング (Geometry/Polygon-Based Rendering; GBR) である。この手法はレンジセンサや人手による図面おこし作業などを通じて対象の形状 (幾何情報) を表現系の内部に保持し、場合によっては色情報や表面反射属性などを加えたうえで適当な視点からの見えを投影によって得るのである。画像ベースレンダリングと比較すると表示に必要な計算処理やメモリ空間は少なく済むが、現実感の高い見えを生成することは簡単ではない。

このような状況の中、我々は、画像ベースレンダリングを主体として自動車の運転シミュレーション映像を構築するシステムを提案し、開発を行っている。従来から自動車教習所や鉄道会社、ゲームセンター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表現されていた。ドライブシミュレータでは表示処理に要求される時間制約が大きいこともあってその現実感是非常に乏しいものとなっている。また、シミュレーション映像内に登場する建物や道路などの幾何モデルの構築処理は、現在でも人手に頼っている部分が非常に大きく、膨大な開発コストを招く一因ともなっている。



図 1 幾何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

そこで我々は、運転シミュレーション映像のうちユーザの感ずる現実感に大きく寄与すると考えられる自車両周辺の建物、街路樹、空などの遠景部分を画像ベースレンダリングに置き換

えるアプローチを提案する。画像ベースレンダリングでは他車両や歩行者など別のオブジェクトを任意の位置に動的に発生させたり、道路標識の内容や大きさ、設置位置を変更す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、車両、道路標識、路面、ガードレール、トンネル内部などの近景部分については従来どおり幾何ベースによってレンダリングを行い、双方の見えを表示の最終段階で合成する。このように、幾何ベース・画像ベースのレンダリング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ことができる。

本手法は東京大学国際・産学協同研究センターの産官学連携「サスティナブル ITS プロジェクト」 [1] として開発されている「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一部として機能する。このシステムは、従来の交通シミュレータ・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、車体運動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したものであり、ユーザ視点からの見えが本論文で述べる手法によって提供される。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では複合現実交通実験空間全体の概要を述べ、3. で関連研究を紹介する。次に4. 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5. で周辺環境画像を合成して提供する手法を示す。6. で結果を示し、7. 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。自車両の挙動は運転席の振動や勾配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のシミュレーションを行うモジュールである。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。詳細は次に述べる。

このようなシステム構成により、従来型の単なる DS とは異

なり、ユーザはあらかじめシナリオとして用意された他車両の挙動ではなく TS のネットワーク内で発生した他車両の挙動に基づいて仮想的に運転のシミュレーションを行うことができる。また、自車両の挙動もまた他車両の挙動に影響を及ぼす。そしてその見えは実写画像を取り入れた現実感の高いものとして提供される。図 2 にシステム全体の概念図を示す。

この複合現実交通実験空間は、実在の公道を走行舞台として仮想的に扱う。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幾何ベースとイメージベースの手法があることは 1. 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画像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。具体的には以下のように使い分ける。

- 近景：幾何ベース
- 遠景：画像ベース

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、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。

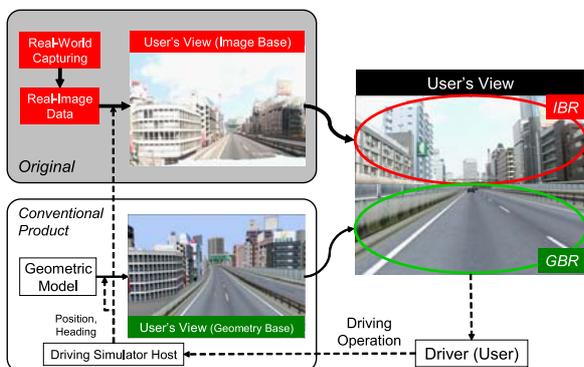


図 3 本研究で提案するシステムの全体像

図 3 に、本研究で提案するシステムの全体像を示す。画像ベース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、幾何ベース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。両者の見えは奥行き位置によって使い分けられて合成され、ユーザはそれを見て運転操作を行う。運転操作は前述の DS 部に帰還され、DS 部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。

このような使い分けをするのは、両者の利点を相補的に生かした見えを生成することができると考えられるためである。本システムの場合、具体的には以下のような意義がある。

- **現実感**：路面上である近景部分は全体を通して比較的画一性が高いのに対し、遠景部分は千差万別であり、人間の感じる現実感により強く影響すると考えられる。この部分を実写画像ベースにすることで、ユーザに高い現実感を与えることが期待される。
- **他車両の隠蔽・重畳**：画像ベース部用の実写画像データは、モデルコースである公道道を撮影走行して取得するため、撮影時の周辺車両が写り込んでいる。これらの車両は路上部分を従来の幾何ベースで「重ね描き」することで隠蔽することができる。また、KAKUMO 部により発生したシミュレーション環境上での他車両も、路面上を幾何ベースとすることで容易に重畳することができる。
- **標識、看板などの新設・変更**：路面上を幾何ベースとすることにより、シミュレーション映像内に標識などを新設したり、内容を書き換えたりすることが容易に実現できる。この点は、本システムを新標識の効果測定シミュレーションとして活用するなどの際に重要となる。
- **コスト低減**：現在、製品の DS における建物などの幾何モデル構築は人手に頼っている部分が多く、手間・時間がかかっている。遠景部分に実写ベースを取り入れると、幾何モデルの構築は近景の路上部分のみで済む。路上部分はあらかじめ図面が存在することも多く、開発コストを低減することができる。

● **正面方向の誤差緩和**：5. に述べるように画像ベース部の正面方向を描く際には誤差が生じるが、幾何ベース部がこの誤差の大きい部分を補い、全体として自然な見えが生成される。

以下では関連研究に続き、4. では周辺画像データの取得、5. ではレンダリングについて詳細を述べる。

3. 関連研究

本研究の特徴は、ドライブシミュレータの見え部分が幾何ベース・画像ベースの双方によって実現されている点である。ここではこれらの観点から関連研究について述べる。

都市空間のモデリングは CV, CG 以外にも VR や ITS, 建築などの分野で多く研究されている。Frue ら [7] や Zhao ら [8] は地上から発せられたレーザのスキャンによって都市空間の幾何モデル構築を行っている。Teller ら [10] は、静止画像の集合から都市空間の幾何モデルを再現している。また、Kotake ら [9] は複数台のビデオカメラを利用して画像ベースにより現実感の高い都市シーンのモデリングを行っている。だが、これ

らの研究はいずれもドライブシミュレータとしての応用を想定して設計されたものではない。

ドライブシミュレータは主に企業において開発されてきた [19,21,22]。近年では製造会社のほか、ゲームベンダの参入も見られる [20]。学術分野ではシミュレータの開発に加え、それらを利用した実験的な研究が数多く行われてきた [13-16]。しかし、これらの研究で開発・使用されているドライブシミュレータはいずれも幾何ベースのレンダリングによるものである。Katakura, Ohta ら [11,12] は、あらかじめ走行経路に沿って撮影しておいた実写映像をユーザの加減速ペダル操作に応じて適切に再表示するシステムを提案しているが、この研究では視点の変更は撮影経路上に限られており、ハンドルを切るような効果は再現されない。我々が知る限りにおいては画像ベースレンダリングによる自由視点映像をドライブシミュレータに適用して事例はなく、また幾何ベースレンダリングと組み合わせて相補的な効果を狙ったものも存在しない。

4. 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。



図 4 周辺環境画像収集車両

カメラの光学中心が今回のように一致していない場合、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により取得する。図 6 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。

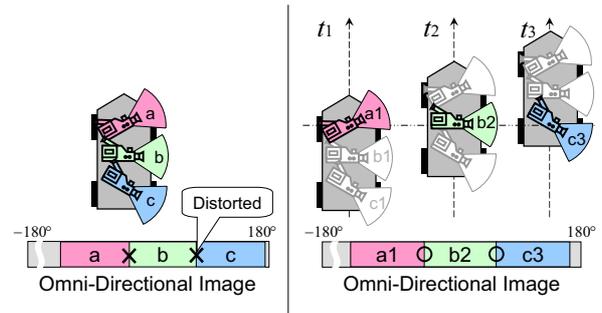


図 5 時空間的な光学中心の一致



(a) 統合前 (中央上部は地図)



(b) 統合後

図 6 全方位画像 (前方半方位画像)

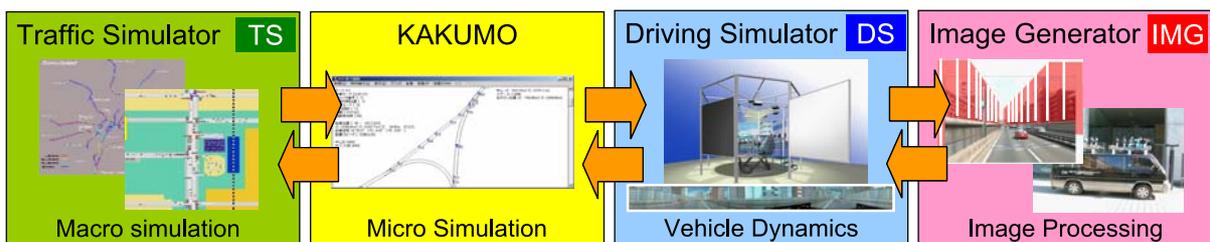


図 2 複合現実交通実験空間

5. ユーザ視点からの見えの構築

5.1 自由視点画像の合成

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と、その経路外からの見えは図7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7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。このような自由視点画像の合成では、真正面または真後ろ方向の見えについては参照すべき光線が存在せず、特異点となる。[6]ではこの問題は具体的には解決せず、横方向の見えだけを扱うこととしている。本手法では、真正面または真後ろ方向の見えは、図8のように最も近傍の全方位画像キャプチャ点の見えをコピーする。この見えは本来表示すべき見えとは異なっており、誤差を生じる。視点の横方向移動量を ΔX 、シーン中のある地点までの奥行きを D とすると、その地点が本来表示されるべき位置との誤差は、

$$\Delta U = \frac{h_0}{D} \Delta X \quad (1)$$

と表される。 h_0 はカメラの内部パラメータによって決まる定数である。すなわち誤差は手前部分で非常に大きく、遠方になるにつれて急激に減少する。本研究においては誤差の大きい「正面かつ手前の部分」は、ほぼ路面に相当し、この部分は幾何ベースレンダリングによって描かれる。画像ベースレンダリングは誤差の小さい遠方部分のみに適用する。これにより、正面方向についても違和感が少なく再現することができる。

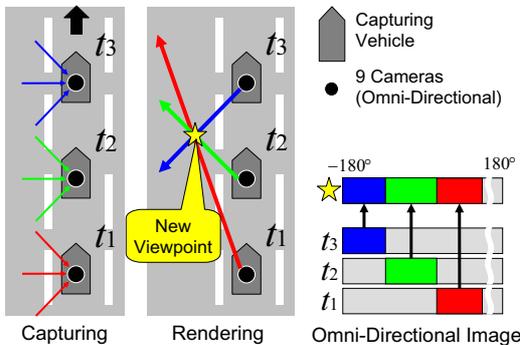


図7 新しい視点からの見え生成

これら一連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)。

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行う必要がある。車両位置の更新レートは本来の幾何ベースによる DS 部で 60Hz、他車両位置のシミュレーション

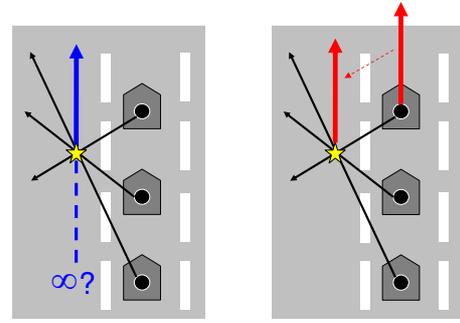


図8 正面方向の描画

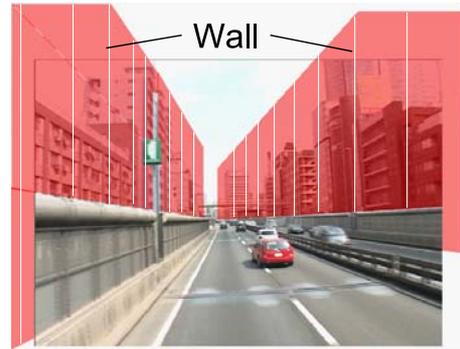


図9 仮想的な板

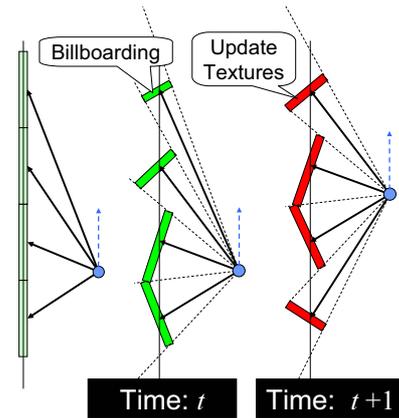


図10 テクスチャの更新

ンジュールである KAKUMO 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。

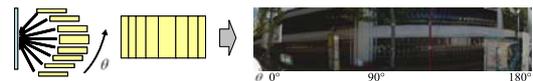


図11 テクスチャデータセット

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。

5.2 画像ベース部と幾何ベース部の合成

幾何ベースと画像ベースの描画はそれぞれ独立に行われる。前者は既存製品の一部をそのまま活用し、後者は前節に記した方法で描画する。これら両者の見えの位置を合わせ、DS部から受け取った自己位置・姿勢を適切に反映するためには幾何モデルと全方位画像撮影地点の対応付けが必要になる。本研究で使用するDS部の幾何モデルは、建物モデルや特に道路構造、標識位置などが現実世界に対してややデフォルメ、および異なった位置に配置されているため、撮影した全方位画像と現実世界の撮影地点を対応づけても幾何ベース部と画像ベース部は適切に対応しない。そこで図12のように、適当な間隔で全方位画像のフレームと幾何モデル上の撮影地点位置を手動により対応付け、間を3次スプラインによって補間した。

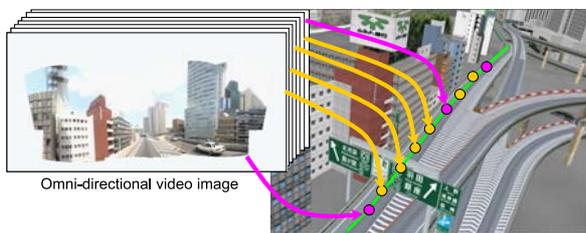


図12 幾何モデルと全方位画像撮影地点の位置合わせ

また、図13にIMG部のハードウェア構成を示す。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、画像ベースである遠景部分は複数台のコンピュータ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。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タ (VisCluster) 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、プロジェクタを通じてユーザ前のスクリーンに投影される。

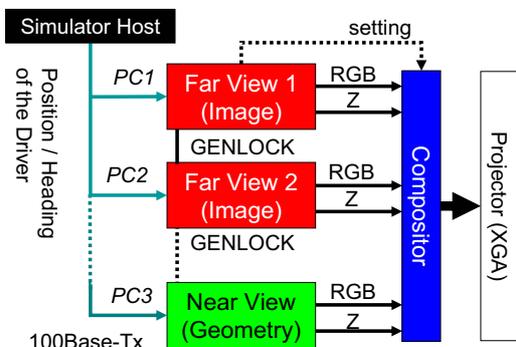


図13 IMG表示系のハードウェア構成

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

6. 結果

図14に画像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15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。

更に、図16にコンポジタを通じて画像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。空、建物、建物に付随する看板などは画像ベースにより描かれ、画像ベース部分の仮想壁よりも手前にある道路、防音壁、他車両、道路標識などは幾何ベースによって描かれている。このような使い分けにより、運転者には現実感の高い見えを提供すると同時に、他車両の動きを変化させたり、看板の表示内容を変更させるといったインタラクティブな利用も実現することができる。



図14 画像ベース部分の表示 (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15 視点変更の例



図 16 画像ベース（遠景）と幾何ベース（近景）の合成結果。空、建物、建物に付随する看板などは画像ベース、防音壁、道路、他車両、道路標識などは幾何ベースによって描かれている

7. おわりに

本稿では「サスティナブル 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、幾何ベースの見えと実写にもとづく画像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。

画像ベース部分は、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。幾何ベース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。

今後は、このシステムを高速道路のサグ区間の運転シミュレーションに活用することを考えている。サグ区間とは道路の勾配が連続して微妙に変化する区間であり、交通事故や道路工事などとは異なる、いわゆる「原因不明の交通渋滞」を引き起こす原因となっている。このような微妙な状況を再現するためには、本システムのようなイメージベースを取り入れた手法が適していると考えられる。現在のところ東名高速道路・横浜青葉 IC～厚木 IC（図 17）を対象としてシミュレーションを行うことを予定しており、本システムを利用した運転者の運転行動・判断にかかわる人的・心理的パラメタの解析や、サグ情報標識の内容、大きさ 設置位置などによる有効性の検証を行う計画である。

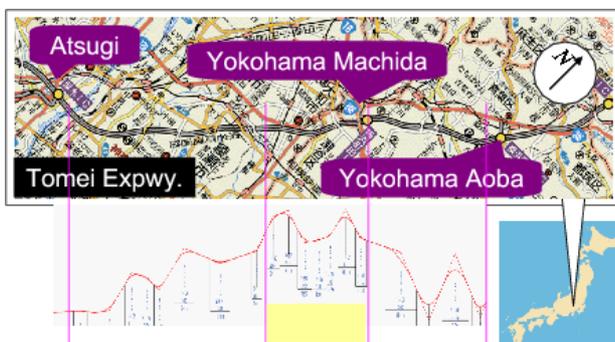


図 17 東名高速道路におけるサグ区間（横浜青葉 IC～厚木 IC）

文 献

- [1] K. Ikeuchi et.al, "Mixed Reality Traffic Experiment Space under Interactive Traffic Environment for ITS Research", Proc. 11th World Congress on Intelligent Transport Systems and Services (ITSWC 2004), Nagoya, Japan, Oct. 2004
- [2] T. Shiraishi, H. Hanabusa, M. Kuwahara, E. Chung, S. Tanaka, H. Ueno, Y. Ohba, M. Furukawa, K. Honda, K. Maruoka, T. Yamamoto, "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
- [7] Christian Frueh, Avideh Zakhor "Constructing 3D City Models by Merging Ground-Based and Airborne Views", Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Madison US, 2003
- [8] Huijing Zhao, Ryosuke Shibasaki "Reconstruction of Textured Urban 3D Model by Fusing Ground-Based Laser Range and CCD Images", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E83-D, No. 7, pp.1429-1440, Jul. 2000
- [9] D. Kotake, T. Endo, F. Pighin, A. Katayama, H. Tamura and M. Hirose, "Cybercity Walker 2001: Walking Through and Looking Around a Realistic Cyberspace Reconstructed from the Physical World", 2nd International Symposium on Mixed Reality (ISMR2001), pp.205-206, Mar. 2001
- [10] Seth Teller, Matthew Antone, Zachary Bodnar, Michael Bosse, Satyan Coorg, Manish Jethwa, Neel Master: "Calibrated, Registered Images of an Extended Urban Area", Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2001
- [11] M. Katakura, T. Oguchi, S. Shikata, "Development of Moving Scenery Image Experiment System" (in Japanese), Annual Conference of Japan Society of Civil Engineers, pp.57-4, Sep. 2002
- [12] H. Ohta, M. Katakura, T. Oguchi, S. Shikata, "Effects of Traffic Safety Devices on Driver's Behavior at a Curve Section" (in Japanese), Infrastructure Planning (Japan Society of Civil Engineers), Nov. 2002
- [13] Panat Leelavansuk, Hidehisa Yoshida, Masao Nagai, "Cooperative Steering Characteristics of Driver and Lane-Keeping Assistance System" International Journal of ITS Research, Vol. 1, No. 1, pp.17-24, Dec. 2003
- [14] Hidehisa YOSHIDA, Masashi IGARASHI, Masao NAGAI "A New Motion Cue Algorithm for Improving Longitudinal Sensation in Driving Simulator" 6th International Conference on Motion and Vibration Control, pp.587-592, Saitama, Japan, Aug. 2002
- [15] Taichi Shiiba, Yoshihiro Suda, Yusuke Tanabe, Masaaki Onuki "Virtual Running Tests of Automobile with Driving Simulator" International Journal of ITS Research, Vol. 1, No. 1, pp.33-39, Dec. 2003
- [16] J.H. Kim, Y. Matsui, S. Hayakawa, T. Suzuki, S. Okuma, N. Tsuchida, "Acquisition and Modeling of Driving Skills by Using Three Dimensional Driving Simulator", IEICE Trans. Fundamentals Vol. E88-A, No. 3, pp.770-778, Mar. 2005
- [17] Sustainable ITS Project, Center for Collaborative Research, The University of Tokyo, <http://www.its.ccr.u-tokyo.ac.jp>
- [18] Metropolitan Expressway Public Corporation, Tokyo Metropolitan Expressway, <http://www.mex.go.jp/english>
- [19] Mitsubishi Precision Co., Ltd., <http://www.mpcnet.co.jp/e>
- [20] SEGA DRIVING SIMULATOR, <http://sega.jp/simulator>
- [21] Tasknet Inc., ACCESS MASTER, <http://tasknet.co.jp/www/simulator/driving-simulator.html>
- [22] Doron Precision Systems, Inc., <http://www.doronprecision.com/driving.html>