

ロボットのためのバーチャルリアリティ

-自動車自動走行シミュレータ-

磯部 博史[†], 阿部 良一^{††}, 山下 幸彦^{†††}

[†] 東京工業大学 工学部 情報工学科

^{††} 東京工業大学 理工学研究科 電気・電子工学専攻

^{†††} 東京工業大学 工学部 開発システム工学科

〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1

03-5734-3497

iso@ide.titech.ac.jp, abe@ide.titech.ac.jp, yamasita@ide.titech.ac.jp

画像を認識しながら行動するロボットの実験を実空間で行う場合、安全性やコストなどの問題によって実験内容に大きな制約を受ける。そこで、画像認識や行動決定のアルゴリズムの検証を仮想空間上で行うために、ロボットのためのバーチャルリアリティを実現する必要がある。本論文では、まず、自動走行する自動車のためのバーチャルリアリティである自動走行シミュレータを制作するために解決すべき問題点について明らかにする。次に、同一性の問題に関して、実画像とCG画像との相違点を明らかにするために、ステレオ画像の計測実験を行う。そして、高梨らが制作した自動走行シミュレータ [1] を改良するためにテクスチャマッピングによって同一性を向上させた自動走行シミュレータの実験を行う。

自律移動ロボット, ステレオ視, 自動走行自動車, コンピュータグラフィックス, テクスチャマップ

Virtual Reality For Robots

-A Simulator For Autonomous Vehicle

Hirofumi Isobe[†], Ryoichi Abe^{††}, Yukihiko Yamashita^{†††}

[†] Department of Computer Science, Faculty of Engineering

^{††} Course of Electrical and Electronic Engineering, Graduate school of Science and Engineering

^{†††} Department of International Development Engineering, Faculty of Engineering

Tokyo Institute of Technology

2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan.

03-5734-3497

iso@ide.titech.ac.jp, abe@ide.titech.ac.jp, yamasita@ide.titech.ac.jp

An experiment for robots which move autonomously by using image understanding techniques restricted for the safety and the cost. Then we need to realize a virtual-reality for robots to verify algorithms for image understanding and control in the virtual space. We clarify the problem which must be solved to construct a simulator for autonomous vehicle which is a virtual-reality for them. In order to clarify the difference between a real and a virtual images as to the problem in equality, we compare the difference of the results of stereo image measurement between in the real and in the virtual images. We carry out the simulator for autonomous vehicle which improves by using texturemaps about equality in order to make the simulator made by Takashi better.

autonomous robot, stereogram, autonomous vehicle, computer graphics, texturemap

1 はじめに

人間には自分の周囲の情報を知るために、視覚、聴覚、触覚、嗅覚、味覚の五感と呼ばれる感覚が備わっている。その中でもとりわけ視覚から得られる情報量は極めて多い。このような視覚情報を利用する能力をコンピュータに持たせるために、コンピュータビジョンの研究が行われている。コンピュータビジョンを応用した研究の一つに自動車自動走行システムがある。しかし、このようなシステムが正しく動作し自動的に走行できるかどうかの実験をいきなり公道で行うことは非常に危険である。そのため、テストコースなど公道以外の場所で認識実験が行われているが、実験場が限定されるため多様性を実現することが困難になる。また、多様な実験をするためには準備に費用と時間が必要になる。

このような問題を解決するために、実空間で認識制御の実験を行うかわりに仮想空間で行うシミュレータが提案されている [1]。本論文では、自動車自動走行シミュレータのために必要な仕様について検証し、問題点を明らかにする。その中で、特に重要な問題である同一性の問題に対し、仮想空間と実空間との違いを把握するためにステレオ画像計測実験を行う。また、テクスチャマッピングによる同一性を向上させた自動走行シミュレータの実験を行う。

2 シミュレータ

今回制作するシミュレータは、「自動車自動走行システム」のシミュレータである。まず、道路情景を3次元CGを用いて仮想空間上に生成する。仮想自動車は、この仮想空間上を自動走行する。シミュレータは、仮想自動車から見た道路情景を3次元CGで生成し、自動走行システムに出力する。自動走行システムはこのデータを受けとり制御指令を出力する。シミュレータは制御指令を受けとり、仮想空間上の仮想自動車を移動させる。そして、移動先から見た新たな画像を生成する。シミュレータは以上の動作を繰り返す。

2.1 シミュレータの仕様

シミュレータが目標とするシステムの仕様は、以下の通りである。

1. 同一性

認識システムが扱う実空間上の認識対象とシミュレータが作り出す仮想空間上の認識対象との間に、誤差があってはならない。すなわち、実空間のカメラで撮影されるのと同様の画像を生成するとともに、制御指令に対して同様に反応しなければならない。

2. 多様性

実空間には様々な情景がある。例えば、自動車一台をとっても、色・形・大きさなどに様々な違いがある。また、同じ自動車でも、位置・向き・照明の当たり方などによって見え方は異なってくる。このような様々な情景に対しても「同一性」を保ちながらシミュレーションを行えるようにしなければならない。

3. 操作性

シミュレータの使用者は、シミュレータの内部に関する知識を必要とせず、インターフェースを通じての指示をするだけでシミュレータを使用可能にする。シミュレータに関しての新たなプログラミングを必要としない。

4. 同期性

認識システムとシミュレータの時間軸の同期がとれていなければならない。逆に、同期がとれていれば、シミュレータは必ずしも実時間で動く必要はない。

2.2 同一性

有用なシミュレータを実現するためには、問題が数多くあるが、特に重要な問題は、同一性の問題である。これは、シミュレータが生成する3次元CG画像と現実の認識システムが扱う実画像との間に誤差があってはいけないという点である。

例えば、図4(a)のような画像を考えると、「左側に2つの建物があり、右奥に1つの建物があり、道路上に1台の車がある」ということが分かる。しかし、実画像とCG画像、特に図4(a)と図4(b)は全く異なって見える。

実画像（図4(a)）は、道路情景、建物の形、色などが細かく表現されているが、簡単に表現されたCG画像（図4(b)）は建物が簡単に直方体で表現されている。もちろん、複雑な情景をCGで表現することも可能だが、一般に、CGは作り出す映像が複雑になればなるほど映像の発生に時間がかかり、より高性能なコンピュータを必要とする。そのため、CGで表現される物体はその形状・色などは単純化されて表現される場合が多い。しかし、画像が単純化されていても、オクルージョン、影やテクスチャの認識など、実際の問題の複雑さを含むような画像を生成する必要がある。

また、実画像には、雑音などが含まれているものである。しかし、CGで生成した画像には雑音が含まれていない。そのため、CGによる認識は実画像より認識精度が良すぎる傾向があり、そこで、CGの画質を落とすなどの作業を行う必要がある。

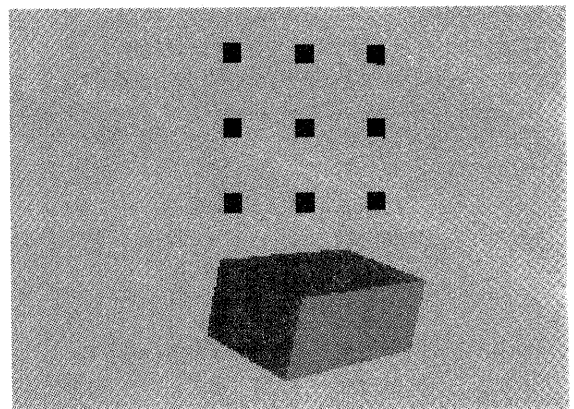
2.3 ステレオ画像の計測実験

本節では、実画像とCG画像との相違点を明らかにするために、ステレオ画像によって、辺の長さが $59 \times 85 \times 150\text{mm}$ の直方体の長さを計測する実験を行った。

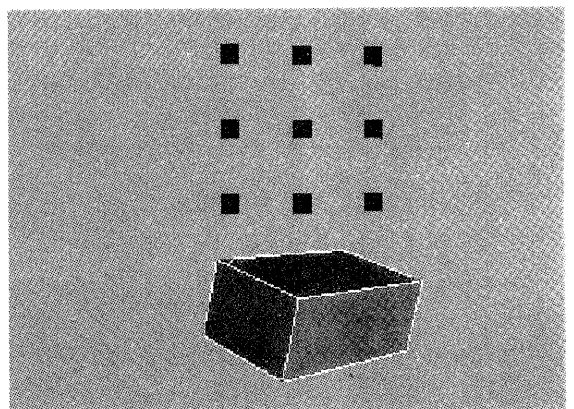
図1(a)がCCDカメラによって撮影した画像である。図2(a)がCGによって生成された画像である。CG画像はOpenGLを使って生成した[2]。これらの画像の上側の9個の正方形は、CCDカメラの校正のために用いられる。CG画像では撮影位置が正確にわかっているため校正を行う必要はないが、校正の誤差を考慮するために、CG画像においても校正を行った。図1(b)と図2(b)がそれぞれの画像の直方体を色情報を利用して領域分割を行ったものである。CG画像の方が多重反射等が考慮されていないため、正確な領域分割が行われていることがわかる。さらに実験では、同じ直方体の位置と向きを任意に変化させ、画像を50枚撮影および生成し、それぞれ計測を行った。図3は 150mm の辺を計測した結果を1ミリ単位のヒストグラムで表したものである。両者とも中心はほぼ真値に一致しているが、CCDカメラ画像の方が計測結果の分散が大きいことがわかる。

この実験結果から、このままのCG画像を自動

走行シミュレータに用いると、計測精度が高すぎることになり、実空間との同一性を確保できないことになる。同一性を確保するためには、自動走行シミュレータに用いるCG画像は実空間からCCDカメラで得られる画像をできるだけ正確に生成する必要がある。そこで、今回は同一性の向上をテクスチャマッピングによって行う。



(a) 入力画像 (左)

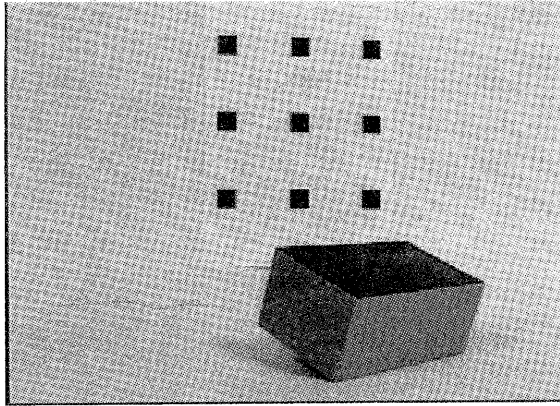


(b) 領域分割結果

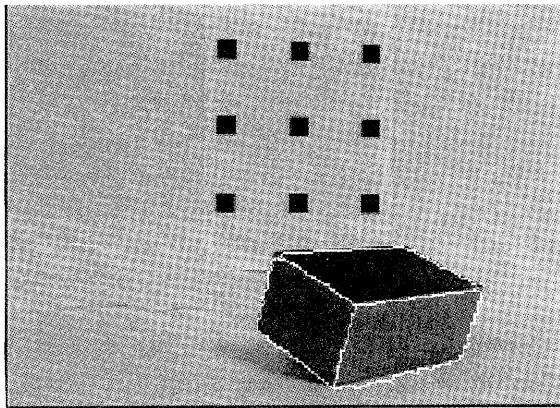
図1: CG画像における直方体の辺の計測結果

2.4 テクスチャマッピング

まず、テクスチャマッピングについて簡単に説明する。



(a) 入力画像 (左)



(b) 領域分割結果

図 2: 実画像における直方体の辺の計測結果

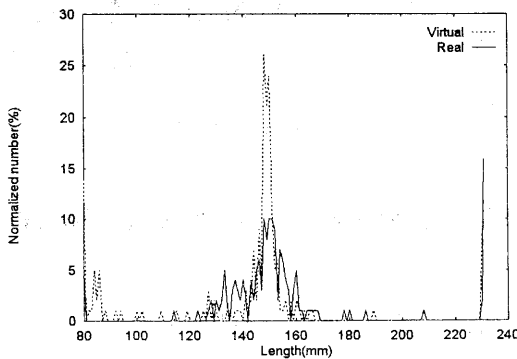


図 3: 直方体の辺の計測結果

例として大きなレンガの壁を描く場合を考える。テクスチャマッピングを使用しない場合、個々のレンガは多角形を使用して描く必要があり、何千ものレンガが必要となるうえ、レンガの表示が極端に滑らかで均整がとれ過ぎ、かえってリアルさが失われる。

テクスチャマッピングを使用すると、レンガの壁の画像（写真や実際の壁をスキャンして得られたもの）を平面に張り付け、壁全体は単体の多角形として描画することができるようになる。

図 4(b)の建物にテクスチャマッピングを施したものが図 4(c)である。貼り付けた画像は実際の写真をスキャンしたものである。ご覧のように人間の見た目にも図 4(b)と比べて実画像との誤差が少なくなったことがわかる。

3 自動走行シミュレータ

次に、今回作成した自動車自動走行シミュレータについて解説する。

3.1 自動走行シミュレータ

自動走行シミュレータにおける仮想空間の中には、白い車線が 2 本引かれている。その車線の間が道路であり、仮想自動車はその道路上を走行する。また、道路の両脇には建物が存在する場合や道路上に対向車及び先行車が存在する場合がある。シミュレータは仮想自動車の位置と向きから、OpenGL を使って自動車のカメラが観測する画像を生成する。また、自動車からハンドルアクセルおよびブレーキの信号を受け取り、それぞれ、画像空間の中で自動車の角速度、加速度を変化させる。

3.2 自動車の認識・制御

自動走行自動車には、その前部の左右にカメラ 2 台が平行に設置されているものとする。認識アルゴリズムは、まず 2 つの画像をステレオ視することによって、距離情報を得る。そのために必要となる左右の画像のマッチングは、縦 2×横 4 画素の小領域の度の差の大きさを最小化することによって行う。[3][4]

車線は区分線分を使って表現する。その認識アルゴリズムは以下の通りである。まず、地上高が

ほぼ地面の高さであり、輝度が高い画素を抽出する。その画素を一定距離ごとにグループに分け、最小2乗法によって線分を得る。

障害物の認識は以下のように行う。まず、画像を縦方向に40個の小領域に分割する。その小領域ごとに、地上高が地面よりも高く、ある一定値以下の画素を抽出し、その距離データのヒストグラムを取る。ヒストグラムが最大になる距離とほぼ等しい距離にある画素を集める。そして、この距離が隣の小領域において同様に求めた距離と近い場合、両者の画素の集合を合併し、障害物候補が2つの車線の間にある場合、障害物(先行車)と判断する。

自動走行自動車の制御アルゴリズムは自動車が2本の車線の中心を走るように制御する。さらに障害物(先行車)が存在した場合、その障害物(先行車)が停止していた場合はその手前で停止するように制御し、走行していた場合はある一定の距離を保って追従するように制御する。

3.3 認識実験結果

まず、図4の入力画像から距離画像を生成し、道路データ・障害物データを出力する認識部を制作し、認識実験を行う。

実画像はカメラで実際の道路を撮影したステレオ画像を320×240のBMP形式のファイルで生成する。このステレオ画像の認識結果から得られた道路、障害物の3次元位置をグラフにしたものを図5(a)に示す。

仮想空間上に作成した簡単に表現されたステレオ画像を320×240のBMP形式のファイルで生成する。このステレオ画像の認識結果から得られた道路、障害物の3次元位置をグラフにしたものを図5(b)に示す。

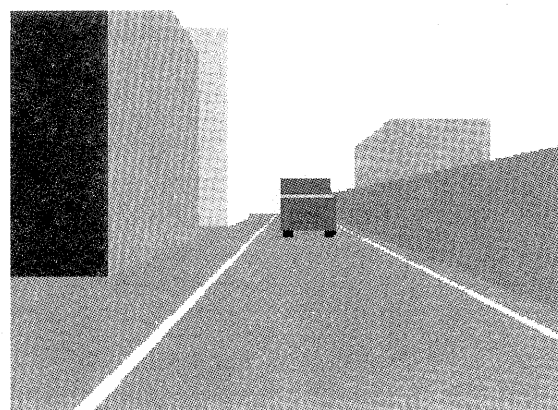
次に図4(b)の建物や道路にテクスチャマップを施したステレオ画像を生成する。このステレオ画像の認識結果から得られた道路、障害物の3次元位置をグラフにしたものを図5(c)に示す。

4 おわりに

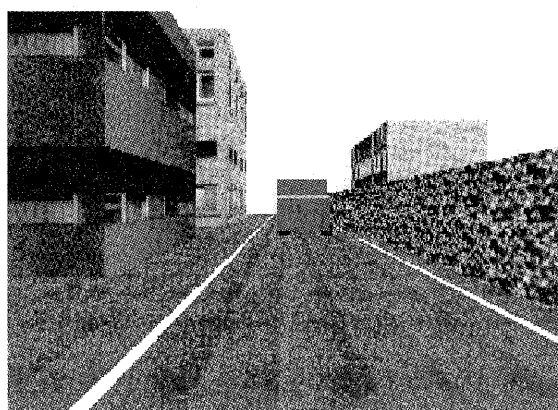
本論文では、画像認識や行動決定のアルゴリズムの検証を仮想空間で行うために、自動走行する



(a) 実画像

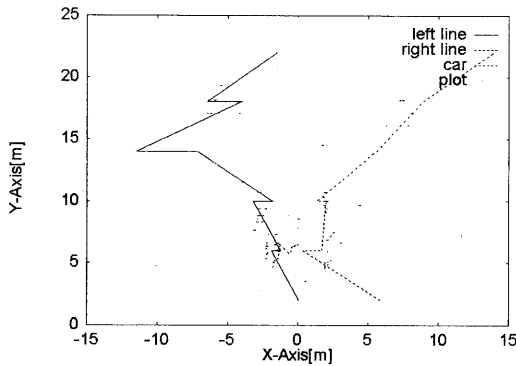


(b) CG画像

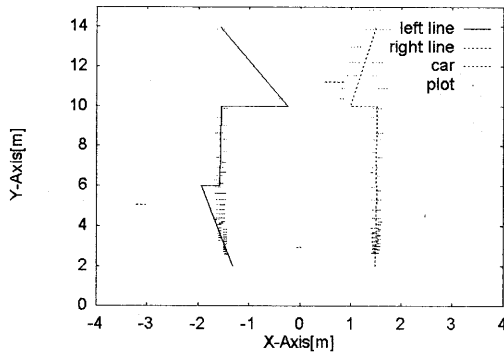


(c) テクスチャCG画像

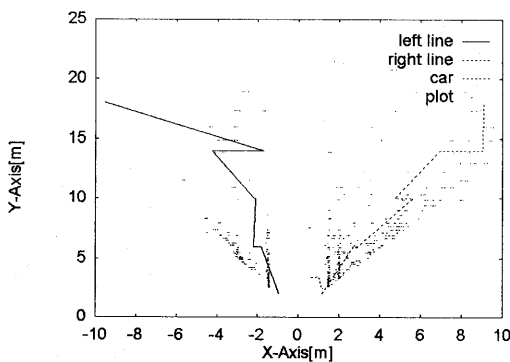
図4: 入力画像



(a) 実画像の認識結果



(b) CG 画像の認識結果



(c) テクスチャCG画像の認識結果

図 5: 車線の 3 次元位置の認識結果

自動車のためのバーチャルリアリティである自動走行シミュレータを制作するために解決すべき問題点について明らかにした。

まず、同一性の問題に関して、実画像と CG 画像との相違点をステレオ画像の計測実験により明らかにした。次に、テクスチャマッピングによって同一性を向上させた自動走行シミュレータの実験を行い、今回制作したシミュレータの有効性を示した。

本論文では、シミュレータが満たすべき仕様のうち、同一性についてを中心に検討を行った。しかし、シミュレータ実現のためには、さまざまな情景においてもシミュレーションが行えるようにすることが重要である。そのためにも、今後は、多様性を容易に実現するための検討が重要である。

シミュレータの操作性については全く検討できなかった。現状では、認識システムとシミュレータが一つにまとまってしまい、両者間のインターフェースもはっきりしていない。さまざまな認識システムのシミュレーションを行う汎用性のあるシミュレータの実現のためには、操作性の検討も重要である。

また、画像だけでなく音声なども扱えるようにすることも今後の課題である。

参考文献

- [1] 高梨賢一, 阿部良一, 山下幸彦: “画像理解のための 4 次元空間シミュレータ”, 信学技報, PRMU97-277, pp. 89-96 (1998).
- [2] クレイトン・ウォルナム: “Win32 OpenGL プログラミング”, プレンティスホール出版 (1996).
- [3] 実吉敬二, 埜圭二, 喜瀬勝之: “三次元画像処理における道路形状と障害物の認識”, 自動車技術, **46**, 4, pp. 23-27 (1992).
- [4] 実吉敬二, 埜圭二, 十川能之, 荒井一真: “ステレオ画像を用いた運転支援のための前方状況認識システム”, 信学技報, PRMU97-30, pp. 39-46 (1997).