

## ITSにおける車載カメラの位置・方位情報取得に関する検討

### HIR システムへの応用

小山石正人<sup>†</sup> 酒井 裕史<sup>†</sup> 藤井 俊彰<sup>†</sup> 谷本 正幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科電子情報学専攻谷本研究室

〒464-8603 名古屋市千種区不老町

E-mail: †{koyamaishi,sakai}@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp, †{fujii,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

あらまし ITS 発展のために、カメラや各種センサがインフラ整備されることが予想される。本研究室では、それらの情報を車々・路車間通信によって取得し、統合・再構築することで運転者支援を行う HIR(Human-Oriented Information Restructuring) システムを提案している。HIR システムでは画像の形で運転者の視覚支援を行う。その中で、車載カメラの位置・方位情報の必要性・要求精度に関する検討を行った。さらに、検討を行った後、それらを HIR システムに適用し、車載システムを構築した。

キーワード ITS,HIR システム, 車載カメラ, 射影変換, 回転・並進

## Acquisition of position and direction of in-vehicle camera for ITS

### Application for HIR system

Masato KOYAMAISHI<sup>†</sup>, Hiroshi SAKAI<sup>†</sup>, Toshiaki FUJII<sup>†</sup>, and Masayuki TANIMOTO<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Information Electronics, Graduate School of Engineering, Nagoya University  
Furou-cho 1-2-3, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

E-mail: †{koyamaishi,sakai}@tanimoto.nuee.nagoya-u.ac.jp, †{fujii,tanimoto}@nuee.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** For progress of ITS, there will be set cameras and sensors in the road's infrastructure. We have proposed a new concept system "HIR(Human-oriented Information Restructuring)" that assists drivers by getting their information by Inter-vehicle or Road-vehicle communication, and restructuring them. In HIR system, images from cameras are used as "Images" for helping driver's visual sence. In this area, I considered necessity and required accuracy of position and direction of in-vehicle camara. After that, I applied their idea to HIR system and built in-vehicle system.

**Key words** ITS,HIR system, in-vehicle camera, projective transformation, rotation・translation

### 1. はじめに

近年、自動車社会の到来によって我々の生活は便利になる反面、交通事故や渋滞、環境汚染、消費エネルギー問題など様々な問題が混在するようになった。これら諸問題の解決策として、車両・人・道路を一体とした高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) に関する研究が、国内外を問わず盛んに行われている。現在実用化されているものもあり、今後の ITS の発達とともに道路交通の知能化・情報化はより一層進んでいくだろう。

その中でも走行支援道路システム (AHS: Advanced Highway Systems) は非常に高度な技術を要しており、将来の ITS の中心

的なシステムとなることが期待されている。AHS は、道路と自動車が無線通信により連携し、ドライバーに対してリアルタイムで情報提供や警報、運転制御を行うもので、完全自動運転を最終目標とする。今後、AHS 実現に向けた道路インフラおよび車両側の IT 化が進み、カメラや各種センサが設置されると思われる。こうした道路環境を利用し運転支援を行うシステムとして、我々の研究室では HIR システムを提案している。本稿ではまず HIR システムの概要を述べ、運転支援のための画像生成アルゴリズムを述べる。そして、車載カメラの位置・方位情報の必要性および精度に対して検討を行う。それらの検討を基にして、実際に情報取得システムを構築し、実験・考察を踏まえ、今後の課題を明らかにした。

## 2. HIR システム

### 2.1 概 要

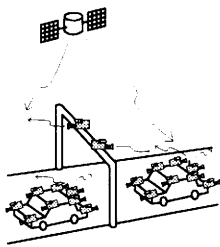


図1 情報収集イメージ

HIR(Human-oriented Information Restructuring)システムは、道路インフラや車両のIT設備を利用し、そこから得られる様々な異種情報を統合し、人間にとって最もわかりやすい形に再構築してドライバーに提示することで運転支援を行うものである。AHSでは、車両や道路インフラから得られた多くの情報を用いたコンピュータによる運転制御が行われる。しかし、ロボット分野で見られるように現段階ではコンピュータの認識・制御・適応性能は人間に劣っており、誤認識による運転操作ミスをする可能性があり、非常に危険である。その誤認・操作ミスの責任問題など、解決すべき問題は数多く存在するため、完全自動運転は現時点では非常に困難であると思われる。一方、HIRでは統合・再構築処理の中で、コンピュータによる認識処理は行わない。そして、提示された情報をもとに人間が認知・判断・操作するので、その危険性を回避することができる。

HIRシステムでは、様々な情報を統合・再構築した上で、最終的に画像の形で運転者に情報提供を行う。なぜなら、視覚情報というのは人間にとって最もわかりやすい情報のひとつだからである。このシステムのキーポイントは、画像をセンサーとして用いるのではなく、画像として運転者に提示することにある。つまりHIRシステムは、人間が最も優れた認識能力を持っているということを前提として、運転者の認知機能を最大限に補助するシステムである。ITSにおける位置付けとしては、認知支援に分類することができる。

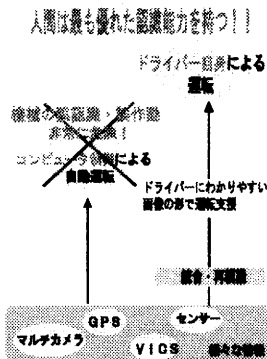


図2 HIRシステム

### 2.2 アルゴリズム

HIRシステムによる補助画像を生成する際は、インフラカメラや車載カメラからのマルチカメラ画像を取得し、それを視点変換する。カメラの画像をそのまま提示するのではなく、運転者の視点に変換することで、道路状況が即座に認知しやすくなるからである。任意視点画像を生成する技術は多数存在するが、大きく次の二つに分類することができる。

- MBR(モデルベースレンダリング)
- IBR(イメージベースレンダリング)

MBRは複数視点から物体を捕らえた画像情報をもとに、形状情報・表面反射特性・光源情報などシーンの3次元情報を復元し、物体のポリゴンモデルを生成する手法である。一度モデルを生成すれば、CG手法を用いて視点移動は自由に行うことができる。しかし、いわゆる対応点問題があり、3次元情報獲得が安定にできない点や、生成画像にCG特有の人工画像らしさが残り、写実性に限界があるという問題がある。IBR法は、カメラで撮影した実写画像を用い、それらを変形したり、パッチワークのようにつなぎあわせたりすることにより、任意視点映像を生成する手法である。生成画像が非常にリアルである点や、レンダリング処理を必要としないため、高速な画像生成が可能であるという特徴がある。

運転者に画像を提示する際は、運転者に即座に情報が提供されなければならないので、リアルタイム性が必要とされる。また、提示画像を見て、運転状況、道路状況を即座に判断できなければならないので、画像の見易さも必要であろう。そこで処理時間が高速で、画像を視点変換できるIBRのアルゴリズムとして、2次元射影変換がある。これは対象物体を平面近似することにより視点変換を行うものである。次節では2次元射影変換について述べる。

### 2.3 2次元射影変換

図3のように3次元空間中の点Mを、ある視点 $C_1$ とその位置からカメラを回転(R)・並進(t)させた視点 $C_2$ から、それぞれの画像面で観測したとする。それらの各画像座標を同次座標で、 $m_1 = (x_1, y_1, 1)^t, m_2 = (x_2, y_2, 1)^t$ と表すことにする。このとき、すべての観測点が3次元空間中で、同一平面上にあるならば、各画像面での同次座標 $m_1, m_2$ の間の関係は、線形であることが射影幾何学において知られている。

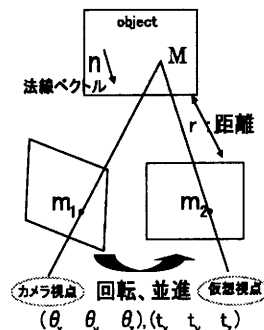


図3 2次元射影変換

つまり、

$$m_2 = kHm_1$$

または、

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = k \begin{pmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

という式が成り立つ。ここでkは0でない任意の定数であり、行列Hは“homography”（射影変換行列）と呼ばれる。射影変換行列Hは校正されたカメラのパラメータを用いて次のように表される。

$$H = N_2 \cdot (R + \frac{t \cdot n^t}{r}) \cdot N_1^{-1}$$

ここで、 $N_1, N_2$  はカメラの内部パラメータ、Rは回転、tは並進、rは基準平面からの仮想視点までの距離、nはobject平面の法線ベクトルである。

つまり、仮想視点の情報をカメラのパラメータとして与えることで、視点変換した画像を得ることができる。2次元射影変換は、視点から物体までの距離に比べて、物体の奥行きが小さいときには、この平面近似は有効である。しかし、3次元情報を必要とするようなシーンを変換した場合にはずれが生じるので注意が必要である。

#### 2.4 誤差について

詳細は次節で述べるが、本研究ではセンサによる位置・方位情報取得を行うため、パラメータには必ず誤差が発生する。ここでは、誤差による画像上への影響をまとめることにする。位置・方位情報の誤差による射影変換後の画素上のずれD(画素数)は、それぞれ次のように表される。ただし水平方向のみを考え、鉛直方向は同様の議論が成り立つので省略する。

(位置)

$$D(x) = \frac{W}{2l \tan \frac{\beta}{2}} x$$

(方位)

$$D(\Theta) = \frac{W \tan \Theta}{2 \tan \frac{\beta}{2}}$$

(W : 水平方向の画素数, l : 物体までの距離, x : 位置誤差 [m],  $\Theta$  : 方位誤差 [度],  $\beta$  : カメラの水平視野角)

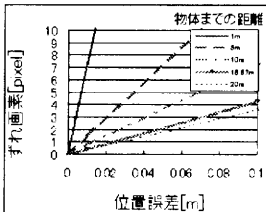


図4 位置誤差の影響

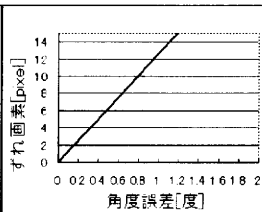


図5 方位誤差の影響

の画素数320である。この値を代入してみると、それぞれの誤差による画素のずれは図4、図5のようになる。位置誤差による画素のずれは、対象物体までの距離によって異なる。方位誤差による画素のずれは、その距離に依存せず、誤差1度は12画素、誤差5度は57画素のずれに相当する計算となる。

ドライバーにとってわかりやすい提示画像を生成するには、誤差を最小限におさえる必要がある。次節では、この画素のずれの許容範囲についての検討をおこなう。

#### 2.5 必要精度の検討

HIRシステムでは、運転者が提示された画像を見ることによって交通状況を認知する。提示画像は、IBRにより多眼画像を張り合わせたり、組み合わせたりすることによって生成する。その提示画像がずれていたり、見にくいものであったりすれば、判断・操作の遅れの原因となり非常に危険である。よって、その誤差の許容範囲を求めることが必要であると思われるので、ここではそれらの事項について考察する。また画像だけではなく、フレームレートや同期についても検討する。

### HIRシステム

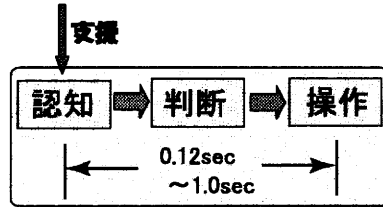


図6 ドライバー行動

自動車を運転するときには、認知・判断・操作という3つの行動から成り立っている。人間はひとつの合図（たとえば音や光）から決められた行動を起こすまでの時間は、0.12秒が限界と言われている。オリンピックの100m走などの競技では、スタートの合図から0.12秒以内にスタートラインからはみ出すとフライングとなることから、この数値が人間の限界に近いと言えるだろう。しかし、運転している場合、集中力や精神的疲労などの影響で、必ずしもこの時間で反応できるわけではない。人間が状況を認知してから操作に至るまでの平均時間は、1.0秒程度であると言われている。よってこの1.0秒を人間の反応時間の基準と考えることにする。

- 画像のずれ：認知すべき対象物体（車両）が60km/hで走行しているとする。これが、人間の反応時間1.0secの間に進む距離は  $60\text{km}/3600\text{sec} = 16.67\text{m}/\text{sec}$  である。この対象が自車両と衝突するような危険な状況のとき、少なくとも1.0sec前には認知しなければならない。つまり、対象が自車から16.67m離れたところで正確な認知を必要とする。よって、そのときに画像がずれては大変危険であるので、画素のずれを1画素以内に抑える必要がある。ここで図4、図5のグラフからその値を求めると、対象物体までの距離が16.67mで画素ずれが1画素以内になるのは、位置誤差が 0.0231 m 以下、方位誤差が 0.0721 度 以下という数値となった。これがHIRシステムにおける位置・方位情報の要求精度の指標となる。

後述の実験で用いた CCD カメラは、視野角 25 度、水平方向

● フレームレート：毎秒フレーム数が少ないと、それはそのまま認知の遅れにつながってしまう。人間の反応時間の限界は0.12secであるから、フレーム間隔は0.12sec以内である必要があるだろう。よって、 $1\text{frame}/0.12\text{sec} = 8.3\text{frame}/\text{sec} = 8 \sim 9\text{frame}/\text{sec}$ のフレームレートが必要である。

● 同期保証：フレームレートと同じように、画像伝送や処理時間による遅延は、0.12sec以内におさえる必要がある。

### 3. 位置・方位情報取得法

HIRシステムの視点変換アルゴリズムとして、前節で2次元射影変換を用いることを述べた。射影変換のパラメータは、内部パラメータ、回転R・並進t（外部パラメータ）を求めることによって決定される。カメラが固定されている場合は、マルチカメラキャリブレーションによって、多数のカメラの対応関係を計算しておくことでパラメータを算出することができる。

しかし、車載カメラの画像を使用する場合には、カメラは動いてしまうためパラメータは動的に変化する。よってパラメータを実時間で取得しなければならない。内部パラメータは事前に求めておくことはできるが、外部パラメータは、校正するための撮影パターン・器具などが必要であるし、処理時間もかかるため、カメラキャリブレーションを行うのは困難である。ここで回転R・並進tはカメラの位置・方位と視点変換後の位置・方位に基づいて求めることができる。よって、これらの情報を車載センサによりリアルタイムで求める方法が適していると考えられる。本章では具体的な情報取得法の比較・検討を行う。

車載カメラの位置・方位を求める際に求められるのは、

- 測定誤差が小さい：検出精度が良好
- 測定範囲が広い：道路上で測定可能
- 車両に搭載できる：容易に車載可能
- 環境に左右されない：磁場や振動の影響を受けにくい。

校正、メンテナンスの問題

● 安価である：将来を見据え、利用可能な値段であることといった条件である。これらを考慮して、最も適している測定法・センサを検討する。そこで各センサの特徴を表にまとめ、位置・方位センサの比較を行った。

#### 3.1 位置センサ

表1 代表的な位置センサの比較

センサ名	範囲	車載性	耐環境	精度	価格
磁場センサ	×	×	×	◎	○
画像センサ	×	△	△	◎	○
超音波センサ	×	×	×	◎	△
GPS	◎	◎	○	×	△
D-GPS	◎	◎	○	△	○
RTK-GPS	◎	◎	○	○	△

HIRシステムにおいて、これら5項目はすべて欠くことのできない重要な要素であるが、車載できることが最優先なので、まずその項目に注目してみる。表1を見てみると、GPS以外のもは測定範囲が狭く、すべての道路環境において測定することができないので適さない。

GPS(Global Positioning System)には単独測位方式と相対測位方式の二つがある。単独測位方式は、現在一般的なもので、三角測量の原理をもとに、受信機の位置を測定する。相対測位方式はD-GPSやRTK-GPSなどがあり、1つの受信機の情報だけでなく、基地局の情報を使用することにより、誤差を減らすことができる。一番精度の良いものはRTK(リアルタイムキネマティック方式)であるが、価格のほうは実用段階ではない。しかし最近では、多くの車両にGPSは標準搭載されており、将来的にたくさんの車両に搭載されれば、コストの問題は無くなるであろう。よって位置センサにはRTK-GPSが適していると考えられる。

#### 3.2 方位センサ

表2 代表的な方位センサの比較

センサ名	範囲	車載性	耐環境	精度	価格
磁場センサ	×	×	×	○	○
地磁気センサ	◎	◎	△	△	○
機械式ジャイロ	◎	◎	△	◎	×
流体式ジャイロ	◎	×	×	◎	×
光学式ジャイロ	◎	◎	△	◎	×
振動式ジャイロ	◎	◎	○	○	△
マシンビジョン	△	○	×	◎	◎
関節角度計	×	×	×	△	◎
傾斜計	◎	◎	○	×	◎

次に表2の角度センサについて考えてみる。磁場センサ、関節角度計は明らかにそれらの項目は低評価であり、使用できないだろう。(×：磁場センサ、関節角度計) 磁場の影響、校正、メンテナンスの必要性を評価する耐環境について注目してみると、地磁気センサは磁場の影響を受けるので評価は低い。

また、流体式ジャイロはメンテナンス、車載性等の課題があるため低評価であり、使用できないと思われる。(×：流体式ジャイロ) また、機械式、光学式ジャイロは専門的なメンテナンス作業が必要となるため汎用性に乏しく、使用は困難であると思われる。(△：機械式ジャイロ、光学式ジャイロ) 振動式ジャイロは、先の二つの方式に比べて精度は落ちるものの、全体的な評価は高い。

マシンビジョンは、マーカ校正が必要で、測定範囲が限られてしまう。しかし、校正さえうまくいけば精度は高いので、他のセンサと組み合わせることができると思われる。傾斜計は、方位角に対する精度が相当低く、使用できないと考えられる。(×：傾斜計)

全ての状況に万能な方法は存在しないので、目的に応じてセンサを選ぶ必要がある。HIRシステムで用いる場合、5項目で比較したが、1項目でも欠けていれば利用することはできないと思われた。それらの5項目全てに平均して評価が高いのは、地磁気センサと振動ジャイロセンサである。本システムでは、この2つのうちで、精度のよい振動ジャイロセンサが適していると考えられる。

## 4. 実 験

### 4.1 ハードウェア

以上の検討を基にして、車載システムを構築した。位置情報は Topcon 社の RTK-GPS を使用した。これは GPS、GLONASS 両衛星の電波を受信することができ、精度は±3cm以下で出力は最大10Hzである。方位情報は datatec 社の3軸角度センサ GU-3024 を用いた。これは振動ジャイロと加速度センサを組み合わせたもので、精度はロール角、ピッチ角が±0.5度、ヨー角が360°回転に対して1%で、出力は60Hzである。位置・方位情報および画像伝送には、最近広く使われ始めている IEEE802.11g 規格の無線 LAN を使用した。周波数帯：2.4GHz、伝送速度：15Mbps、電波到達範囲：約150mであり、320×240の無圧縮画像では約7~8frames/secで伝送可能である。カメラは小型の CCD カメラ (IKSM43H:TOSHIBA) を用いた。画像サイズは320×240である。これらの情報は1つのサーバ PC によって制御する。CPUは Pentium IV processor : 2.8GHz、Memory : 1GB である。実験車両は、電源が確保しやすいエスティマハイブリッド (TOYOTA) を使用し、構築した車載システムを図7に示した。なお実験では、後述する対向右折車 (B車) にも同様の機器を搭載した。

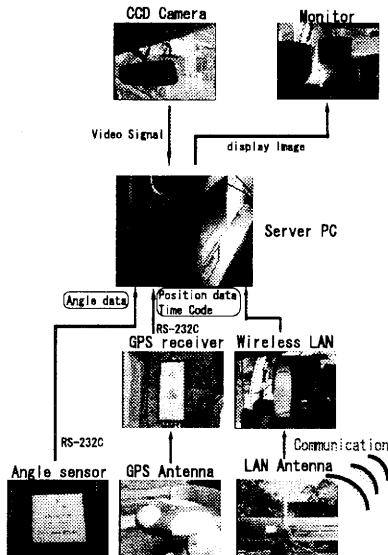


図7 車載システム



図8 実験車両

### 4.2 交差点右折に関する HIR システム

図9のように、交差点において右折しようとする自車両A車、対向右折車B車、そして対向直進車C車が存在する状況を想定する。A車のドライバーが、B車が障害となってC車の存在を確認できないというのは、実際によく起こる状況である。ここで自車両が迂闊に右折を試みると、C車と激突してしまう恐れがある。いわゆる右直の事故である。このような事態を避けるため、B車後方のカメラ(1)又は信号機のカメラ(2)を用いて、A車のドライバーへC車の存在を知らせることを考える。A車のドライバーは、(1)、(2)とそれぞれのカメラの位置・方位情報は無線LANによって取得できるものとする。図12に、生成した運転者補助画像を示した。C車がB車の上から透けて見えているので、ドライバーはC車の存在が確認できる。この補助画像生成アルゴリズムは以下である。ただし、雑音除去などの前処理は省略した。

- A車前方の車載カメラ(0)、B車後方(1)および信号機のカメラの画像(2)を取得
- (1)、(2)から、フレーム間差分によりC車のみを抜き出す
- それを2次元射影変換によりA車のドライバーの視点に変換する(1')(2')
- (0)を運転者の眺めとして、(1')または(2')と合成する

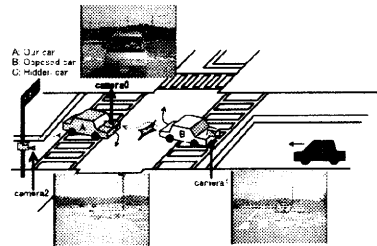


図9 想定状況

今回の実験では、画像、センサ情報すべてを同時にサーバPCに保存し、オフラインで補助画像を生成した。図12、図13の生成画像は、B車後方のカメラ画像(1)を使用したものである。

しかし、図13を見るとわかるように、A車の車載カメラに映っているC車と、B車後方カメラの画像を張り合わせた際のC車にはずれが生じている。そこで、2つのC車の対応点を画像上から求め、その誤差を計ってみると、横方向：約31画素、縦方向：約15画素のずれであった。使用したRTK-GPSの誤差は3cmであり、これは画像上で1画素のずれに相当する。振動ジャイロセンサの誤差は、基準方向から回転した角度によって異なるのだが、仮に90度回転していたとする。交差点右折時では、最高でも90度程度の回転しかしないであろう。そのとき、誤差は0.9度となり、12画素のずれに相当する。しかし、実際に生成した画像ではそれ以上のずれが生じている。

この画像のずれの原因としては、

- センサの誤差の影響
- センサとカメラの位置・方位の違い
- 変換アルゴリズムの問題

などが考えられる。

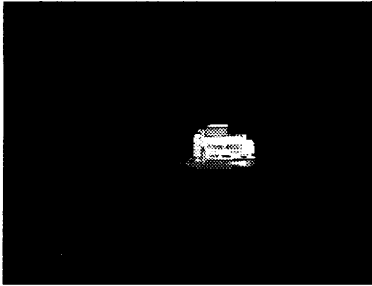


図 10 車両抽出 (3 フレーム間差分法)

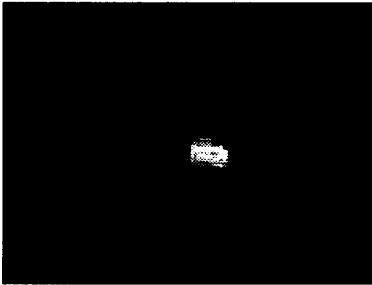


図 11 2 次元射影変換後



図 12 運転者補助画像



図 13 車両のずれ

## 5. まとめと今後の展開

提案されているHIRシステムの概要を述べ、実環境に適用するためには、車載カメラの位置・方位情報が必要であることを示した。そして必要とされる精度を、実際の交通状況に置き換えることよって検討した。また、それを前提として車載システムを構築した。交差点右折時状況においてHIRシステムを適用してオフラインで運転者補助画像を生成し、その有効性を示した。

今後は、センサの誤差による画像のずれの補正法の考案、センサとカメラの位置・方位のキャリブレーション、さらに見やすい提示画像の検討、リアルタイムでの画像提示、などを行っていく予定である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、快く施設を貸して下さった、愛知県中部日本自動車学校の方々に深く感謝いたします。

## 文 献

- [1] 国土交通省道路局ITSホームページ,  
"http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/index.html,"
- [2] K.Toyota,T.Fujii,T.Kimoto and M.Tanimoto,"A Proposal of HIR system for ITS,"; IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2000.
- [3] 豊田興一,"ITSのための情報統合・再構築システムHIR(Human-Oriented Information Restructuring)の研究,"名古屋大学工学研究科谷本研究室修士論文(2001)。
- [4] H. Sakai, M. Koyamaishi, K. Toyota, T. Fujii, and M. Tanimoto, "Experiment of Safety Drive in an Intersection by Visual Assistances based on HIR System," .IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2003.
- [5] 市原栄太郎, 高尾広行, 大田友一,"NaviView : 仮想車載カメラ映像による運転者の視覚支援,"; 電子情報通信学会 D-II Vol. J82-D-II No.10 pp.1816-1825(1999).
- [6] 蚊野浩, 金出武雄, "任意のカメラ配置におけるステレオ視とステレオカメラ校正,"; 電子情報通信学会 D-II Vol. J79-D-II, No.11. pp.1810-1818(1996).
- [7] Olivier Faugeras, "Three-Dimensional Computer Vision : A Geometric Viewpoint, ", The MIT Press,Cambridge,Massachusetts,London,England(20
- [8] 佐藤淳著, "コンピュータビジョン -視覚の幾何学-, " コロナ社 (1999).
- [9] 井上誠喜, 八木伸行, 林正樹, 中須英輔, 三谷公二, 奥井誠人,"C言語で学ぶ実践画像処理," オーム社, 東京 (1999).