液晶を用いた光沢除去のための視覚システム

正 員 山 田 啓 一 (豊田中研)

非会員 中 野 倫 明 (豊田中研)

正 員 山 本 新 (豊田中研)

A Vision System for Removal of Specular Reflection Component
Using a Liquid CrystalKeiichi Yamada, Member, Tomoaki Nakano, Non-member, Shin Yamamoto, Member (Toyota
Central Res. & Develop. Labs. Inc.)

A problem in realizing a vehicle which autonomously travels along a guide line on the floor in an in-plant environment by its vision is the gloss of the floor which obstructs the recognition of the line. The gloss is caused by interface reflection from object surfaces.

This paper proposes a method to obtain images of an interface reflection component and a body reflection component when the shape of object surfaces is known. This method is based on the Dichromatic Reflection Model and utilizes the difference in Fresnel reflection coefficient between parallel and perpendicular components of polarization. No knowledge on the number and disposition of light sources is required. A vision system based on this method has been developed using a liquid crystal cell and its performance was examined. By applying this system to the vision of a vehicle, the guide line was found to be reliably recognized from the image of the body reflection component even if the floor was glossy due to illuminations. Thus, the effectiveness of the proposed method was confirmed.

キーワード：偏光，光沢，除去，2色性反射モデル，液晶，自律走行車

1. ま え が き

画像処理技術の進歩を背景に，生産工程における計測や検査の自動化は大幅に進み⁽¹⁾，視覚をもつ自律走行車の開発も活発化している⁽²⁾。しかし，これらの検査や認識対象はほとんどが拡散反射を主体とした対象物で，鏡面反射を含む光沢のある物体を対象にしたものではない。

しかしながら，現実の生産工程などでは，プラスチックや磨かれた金属のように，光沢のある対象物が多数あり，これらの対象物を認識したり検査することができないのが現状⁽³⁾である。

構内を白線に沿って走行する視覚付き自律走行車でも，太陽光が差し込んだり天井照明で走行路面が光ったりした場合には，光沢の影響により路面の白線を確認

に検出することができない。このような環境の下でも白線を検出できるようにするには，路面が光沢をもつ場合でもその影響を受けずに安定な画像が撮像できることが必要である。

光沢のある物体を撮像して認識する代表的な方法には，偏光を用いた方法⁽⁴⁾⁽⁵⁾，反射モデルを利用した方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾，光度差ステレオ法⁽⁸⁾⁽⁹⁾，パターン光を投影する方法⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾，などがある。

Shafer⁽⁶⁾らは，反射光が表面反射成分と内部反射成分とからなるとする2色性反射モデルを提案し，このうち表面反射成分が光沢として認識などに影響を及ぼすとしている。彼らは，この2色性反射モデルに基づき，反射光のRGB空間での色ベクトル分布から表面反射成分を分離した。しかし，これを実現するためには，カラー画像が必要であるうえ，その認識処理も複

雑であるので、自律走行車の視覚への適用は難しい。

また、白井ら⁽⁹⁾の光度差ステレオ法では透過型の面光源を、藤村ら⁽¹⁰⁾の方法では M 配列符号化光源を、越川ら⁽⁴⁾の偏光を利用した方法では円偏光光源を、それぞれ必要とする。このようにいずれの方法も特殊な条件を満たした光源で物体を照明する必要があるため、自律走行車への応用には適していない。

著者らの方法は、特殊な条件を満たした照明を必要とすることなく、反射光の表面反射成分と内部反射成分を分離して、その内部反射成分だけを抽出して光沢のある白線でも安定に撮像しようとするものである。この原理を用いて液晶を利用した視覚システムを実現し、これを自律走行車の視覚に応用して良好な結果を得たので報告する。

本論文では、第2章で偏光による除去の方法を、第3章でこの原理に基づく視覚システムを、第4章でその性能評価実験を、そして第5章では、自律走行車の視覚への応用について述べる。

2. 偏光による除去方式

〈2・1〉 原 理 この原理は、表面反射率が入射光の偏光方向によって異なることを利用して、反射光を表面反射成分と内部反射成分に分離するものである。ここで、対象物体での反射が2色性反射モデル⁽⁶⁾で表されること、および反射光の内部反射成分は非偏光であることを仮定している。

図1に入射光 I と反射光 L との間の入射角 i 、反射角 e 、位相 g および面の法線 N の定義を示す。入射角が i で波長が λ の入射光に対する反射角 e 、位相角 g の反射光の強度を $L(\lambda, i, e, g)$ で表す。反射光 L は、電界の振動面が法線 N と反射光 L を含む面に平行な成分 (p 成分) と、それに垂直な成分 (s 成分) との和に分解することができ、各成分の強度を L_p 、 L_s と表すと、

$$L(\lambda, i, e, g) = L_p(\lambda, i, e, g) + L_s(\lambda, i, e, g) \quad \dots\dots\dots (1)$$

図1 入射角 i 、反射角 e 、位相 g

Fig. 1. Definition of incident (i), emittance (e), and phase (g) angles.

また、2色反射モデルによると、反射光 L は、表面反射成分と内部反射成分との和に分解することができる。従って、 L_p および L_s も、それぞれ表面反射成分と内部反射成分との和に分解できる。このうち、内部反射成分は、媒質内の色素でランダムに散乱されていると考えられるので、非偏光であると仮定すると、 L_p の内部反射成分強度 L_{pi} と L_s の内部反射成分強度 L_{si} は等しく、

$$L_{pi}(\lambda, i, e, g) = L_{si}(\lambda, i, e, g) \\ = \frac{1}{2} L_b(\lambda, i, e, g) \quad \dots\dots\dots (2)$$

従って、 L_p の表面反射成分強度を L_{pi} 、 L_s の表面反射成分強度を L_{si} と表すと、 L_p および L_s は、

$$L_p(\lambda, i, e, g) = L_{pi}(\lambda, i, e, g) + \frac{1}{2} L_b(\lambda, i, e, g) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$L_s(\lambda, i, e, g) = L_{si}(\lambda, i, e, g) + \frac{1}{2} L_b(\lambda, i, e, g) \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。2色反射モデルによると、 L_i は幾何学的パラメータによる成分 $m_i(i, e, g)$ と分光分布の成分 $c_i(\lambda)$ との積に分解することができ、 $c_i(\lambda)$ は入射光 $I(\lambda)$ の分光分布と等しく、 $m_i(i, e, g)$ はその表面反射係数である。反射の法則⁽¹²⁾より、表面反射では入射角 i と反射角 e が等しく、また入射光と反射光は同一面内にあるので位相角 g は π である。よって、 $m_i(i, e, g)$ は e のみの関数であるので、これを改めて $R(e)$ と表し、その p 成分を $R_p(e)$ 、 s 成分を $R_s(e)$ とする。更に、入射光の p 成分の強度を $I_p(\lambda)$ 、 s 成分の強度を $I_s(\lambda)$ と表すと、 L_{pi} および L_{si} はそれぞれ、

$$L_{pi}(\lambda, i, e, g) = \frac{1}{2} I_p(\lambda) R_p(e) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$L_{si}(\lambda, i, e, g) = \frac{1}{2} I_s(\lambda) R_s(e) \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。いま、 $I_p(\lambda)$ と $I_s(\lambda)$ の分光分布が等しいと仮定し、定数 η を、

$$\eta = I_p(\lambda) / I_s(\lambda) \quad \dots\dots\dots (7)$$

とする。(3)~(7)式から、 L_{pi} 、 L_{si} 、 $I_p(\lambda)$ および $I_s(\lambda)$ を消去すると、

$$L_b(\lambda, i, e, g) \\ = 2 \frac{L_p(\lambda, i, e, g) - \mu(e) L_s(\lambda, i, e, g)}{1 - \mu(e)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ただし、

$$\mu(e) = \eta \frac{R_p(e)}{R_s(e)} \dots\dots\dots (9)$$

が得られる。いま、波長特性が $S(\lambda)$ の光学系と撮像素子(以下、撮像素子という)で撮像する場合を考え、(8)式の両辺に $S(\lambda)$ を掛けて λ, i, g で積分すると、

$$\begin{aligned} & \iiint L_b(\lambda, i, e, g) S(\lambda) d\lambda didg \\ &= \iiint 2 \frac{L_p(\lambda, i, e, g) - \mu(e) L_s(\lambda, i, e, g)}{1 - \mu(e)} \\ & \quad \times S(\lambda) d\lambda didg \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

となる。(10)式において、

$$\begin{aligned} & \iiint L_b(\lambda, i, e, g) S(\lambda) d\lambda didg = C_b(e) \\ & \iiint L_p(\lambda, i, e, g) S(\lambda) d\lambda didg = C_p(e) \\ & \iiint L_s(\lambda, i, e, g) S(\lambda) d\lambda didg = C_s(e) \end{aligned}$$

とくと、内部反射成分 $C_b(e)$ は、

$$C_b(e) = 2 \frac{C_p(e) - \mu(e) C_s(e)}{1 - \mu(e)} \dots\dots\dots (11)$$

で表される。また、表面反射成分 $C_i(e)$ は、 $C_b + C_i = C_p + C_s$ であるので、

$$C_i(e) = \{C_s(e) - C_p(e)\} \frac{1 + \mu(e)}{1 - \mu(e)} \dots\dots\dots (12)$$

となる。

(11)、(12)式において、 $C_p(e)$ および $C_s(e)$ は反射光の特定方向の偏向成分を同一の波長特性 $S(\lambda)$ をもつ撮像素子で撮像した結果であるので、面の法線 N がわかれば測定可能な量である。また、係数 $\mu(e)$ は面の法線 N がわかれば計算可能である。従って、面の法線 N がわかれば、内部反射成分 $C_b(e)$ および表面反射成分 $C_i(e)$ は、(11)、(12)式より求められる。

〈2・2〉 方 法 自律走行車の走行路面のように対象物が平らな誘電体で、その材質の屈折率が既知である場合について、前述の(11)、(12)式を使って内部反射成分と表面反射成分の画像を求める方法を述べる。

図2にこの場合の対象物と撮像素子の関係を示す。ここで、撮像素子の向きは、撮像素子上の画素の x 軸が対象物平面と平行であるとする。

まず、画像の座標 (x, y) とそれに対応する反射角 e との関係を示す。撮像素子の画素位置 (x, y) に結像されている物体上の点を $Q(x, y)$ とする。点 $Q(x, y)$ における反射角 $e(x, y)$ は、点 $Q(x, y)$ とレンズの主点を結ぶ線が床面の法線 N となす角度である。従って、座標 (x, y) に対応する反射角 $e(x, y)$ は、

図 2 対象物と撮像素子

Fig. 2. Object surface and the imaging system.

$$\begin{aligned} e(x, y) = & \cos^{-1} \left\{ \cos \left(\tan^{-1} \frac{x D_x}{a} \right) \right. \\ & \left. \times \cos \left(e_o - \tan^{-1} \frac{y D_y}{a} \right) \right\} \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

ここで、 a : レンズ主点と結像面(撮像素子の受光面)との距離、 D_x, D_y : それぞれ撮像素子の受光面での横方向および縦方向の画素間隔

となる。なお、座標原点 $(0, 0)$ は光軸の位置にとり、 $e(0, 0)$ を e_o と表した。

一般には、 $x D_x \ll a, y D_y \ll a$ であるので、(13)式は、

$$e(x, y) \approx e_o - \frac{y D_y}{a} \dots\dots\dots (14)$$

となる。

Fresnel の公式と Snell の法則より、 p 成分および s 成分の光の表面反射率は、

$$R_p(e) = \frac{\tan^2 \{e - \sin^{-1}(\sin e/n)\}}{\tan^2 \{e + \sin^{-1}(\sin e/n)\}} \dots\dots\dots (15)$$

$$R_s(e) = \frac{\sin^2 \{e - \sin^{-1}(\sin e/n)\}}{\sin^2 \{e + \sin^{-1}(\sin e/n)\}} \dots\dots\dots (16)$$

である⁽¹²⁾。従って、座標 (x, y) に対応する係数 $\mu\{e(x, y)\}$ は、(9)、(15)、(16)式より、

$$\begin{aligned} & \mu\{e(x, y)\} \\ &= \eta \frac{\cos^2 \{e(x, y) + \sin^{-1}[\sin \{e(x, y)\}/n]\}}{\cos^2 \{e(x, y) - \sin^{-1}[\sin \{e(x, y)\}/n]\}} \\ & \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

である。ここで、通常の照明光は非偏光であるので、 $\eta=1$ である。

一方、カメラの水平画角 θ_x が $\theta_x \ll 1$ であるとする、反射光の p 成分 $C_p(e)$ の偏光面は x によらず物体面と直交すると近似できるので、 p 成分の画像 $C_p(x, y)$ と s 成分の画像 $C_s(x, y)$ は、レンズの前に偏光板を置き偏光板の向きを2通りに変えて撮像することにより求められる。

従って、(11)、(12)式より、内部反射成分の画像

$$C_s(x, y) \text{ および表面反射成分の画像 } C_i(x, y) \text{ は,}$$

$$C_b(x, y) = 2 \frac{C_p(x, y) - \mu\{e(x, y)\} C_s(x, y)}{1 - \mu\{e(x, y)\}} \dots\dots\dots (18)$$

$$C_i(x, y) = \{C_s(x, y) - C_p(x, y)\} \times \frac{1 + \mu\{e(x, y)\}}{1 - \mu\{e(x, y)\}} \dots\dots\dots (19)$$

によって計算することができる。なお、本方法では光源の個数や配置などは計算するうえで必要とならない。

3. 視覚システム

液晶の電気光学的性質⁽¹³⁾を利用して、反射光の各偏光成分の画像 C_p および C_s を同一の撮像素子で順次撮像できるようにして、動物体の検知に適用できるような視覚システムを試作した。

図3に、試作した視覚システムの構成を示す。視覚システムは、撮像部と処理部とから構成される。

撮像部は、通常の CCD カメラのレンズの前に偏光板と液晶セルを取り付けたものである。液晶セルは、透明導電膜をコートしたガラス電極間に Nematic 液晶を入れた Twisted Nematic 液晶セルで、電極間に電圧を印加しない場合にはセルを通過した光の偏光面が一定角度 ω だけ回転し、十分な電圧を印加した場合には回転しないように構成されている。偏光板の向きは、 p 成分すなわち磁界が物体の面に平行な偏光成分を透過するように設定してある。液晶セルに十分な電圧を印加したときは、液晶セルに入射してきた光が偏光面の回転を受けずに液晶セルを通過するので、液晶セルに入射してきた光の p 成分が偏光板を透過してカメラに入る。一方、液晶セルに電圧を印加しないときは、液晶セルに入射してきた光が液晶セルを通過する間に角度 ω だけ偏光面の回転を受ける。従って、このときは、液晶セルに入射してきた光のうち p 成分が $\cos^2 \omega$ 、 s 成分が $\sin^2 \omega$ の割合で偏光板を透過してカメラに入る。

図3 視覚システムの構成
Fig. 3. Configuration of the vision system for removing specular reflection component.

分が $\cos^2 \omega$ 、 s 成分が $\sin^2 \omega$ の割合で偏光板を透過してカメラに入る。

よって、電圧無印加時の画像を C_0 、電圧印加時の画像を C_1 とすると、 p 成分の画像 C_p および s 成分の画像 C_s は、

$$C_p = C_1$$

$$C_s = \frac{C_0}{\sin^2 \omega} + \frac{C_1}{\tan^2 \omega}$$

である。

処理部は、液晶セルドライバで液晶セルへの印加電圧を制御し、CCD カメラで画像 C_0 および C_1 を順次撮像して、画像処理装置の画像メモリーに取り込み、前述の方法で内部反射成分の画像を計算する。

なお、今回用いた液晶セルでは、 $\omega = 0.59$ rad、印加電圧は 9 V、液晶セルの反応時間は常温で約 60 ms である。

4. 実験

〈4・1〉 実験条件 試作した視覚システムの効果確認と性能評価のために、以下の実験を行った。

図4に実験装置を、図5に実験に用いた2種類の撮像対象物(対象物1および対象物2)を示す。視覚システムの撮像部は、図4に示すように位置決めした。対象物は白色蛍光灯 15 W 2 本入りの電気スタンドにより照らされ、撮像部の位置から見たときに対象物表面に光沢が発生する状況になっている。対象物1は、黄

図4 実験方法
Fig. 4. Experiment method.

図5 実験に用いた対象物1(a)と対象物2(b)
Fig. 5. Objects used for the experiment.

色の硬質塩化ビニル ($n=1.55$) 製の板上にマークとして幅 25 mm の紙製テープ (白色, 表面は拡散反射的) を図のように張り付けたものである。対象物 2 は, 底に無反射板を敷いた容器に水 ($n=1.33$) を入れ, その反射光が表面反射成分のみであるようにしたものである。

なお, $a=26.7$ mm, $e_o=1.08$ rad, $D_y=13$ μ m である。照明光は非偏光であり $\eta=1$ である。以上の装置を用いて以下の実験を行った。

(実験 1) 対象物 1 を用い, 視覚システムによって表面反射成分が除去でき, 画像からマークが抽出できることを確認する。

(実験 2) 対象物 2 を用い, 視覚システムの表面反射成分の除去性能を定量的に測定する。

〈4・2〉 実験結果

(実験 1) 図 6 に, カメラで撮像された画像 C_0 および C_1 , 視覚システムの処理部で C_0 と C_1 とから得られた内部反射成分の画像 C_b および表面反射成分の画像 C_i を示した。あわせて, 撮像部の位置から通常の TV カメラによって撮像した場合の画像 C も示した。

同図から, 通常のカメラで撮像した画像 C では光沢が発生しているのに対し, この視覚システムで得られた内部反射成分の画像 C_b では光沢が除去されていることがわかる。このことから, この除去方法の効果が確認された。

(実験 2) 図 7 に視覚システムの表面反射成分の除去性能の測定結果を示した。除去性能として, 全成分のうち内部反射成分画像に残っている表面反射成分量の割合を指標とした。すなわち, 視覚システムで得られた画素 (x, y) の内部反射成分を $C_b(x, y)$, 表面反射成分を $C_i(x, y)$ とするとき, 除去性能を示す指標は,

$$\frac{2C_b(x, y)}{C_b(x, y) + C_i(x, y)}$$

である。また破線は, カメラの前に単に偏光板を置いて撮像した画像 (C_p に相当) の場合の表面反射成分除去特性

$$\frac{2C_p(0, y)}{C_p(0, y) + C_s(0, y)}$$

の理論値を計算した結果を示す。

図 7 より, 本視覚システムにより表面反射成分をほとんど分離することができ, TV カメラの前に単に偏光板を置く場合に比べ十分に効果があることが示された。なお, x が 0 から離れると視覚システムの表面反射成分除去特性が悪くなるのは, x が 0 の位置では

図 6 実験結果 1

Fig. 6. Result 1: images of polarization component $C_i(=C_p)$ (a), polarization component C_0 (b), body reflection component C_b (c), specular reflection component C_i (d) and by usual TV camera (e).

図 7 実験結果 2: 表面反射成分の除去性能
Fig. 7. Result 2: specular reflection removal characteristic.

C_p の偏光面が対象物の面に完全に直交しているが、 x が0から離れるに従って完全な直交関係からわずかにずれるためである。

5. 自律走行車の視覚への応用

〈5・1〉 構 成 本方式を用いた視覚システムを自律走行車の視覚部に応用した。図8に自律走行車の構成を、図9にその外観を示す。自律走行車は視覚部、認識部、制御部からなり、視覚部は前方の画像を入力し、認識部はその画像から白線を認識して白線位置を算出する。制御部は、白線位置情報をもとに舵と車速の制御を行う。

図10にこの自律走行車が走行する環境を示す。自律走行車は、構内の床(塩化ビニル製)に引かれた白線に沿って走行する。床面は天井灯によって照明されており、照明灯の反射で光沢が発生している。床は平面

図 8 自律走行車の構成
Fig. 8. Configuration of vehicle.

図 9 自律走行車の外観
Fig. 9. Vehicle.

図 10 自律走行車の走行環境
Fig. 10. Vehicle and its environment.

であるため、走行車が動いても、レンズ光軸と床の法線とのなす角度 e_0 は一定に保たれる。

この自律走行車の視覚部に本視覚システムを用い、内部反射成分の画像を使って認識部で白線を認識するようにした。この自律走行車の諸元は表1に示すとおりである。

〈5・2〉 性 能 図11(a), (b)に、同一の場面について、走行車の視覚部として通常のTVカメラを用いた場合に得られた画像と、本方式の視覚システムを用いた場合に得られた内部反射成分の画像とを示す。図11の通常のカメラの画像では、床の光沢の影響のために、床の白線の一部が見えなくなっていることがわかる。これに対し、同図の視覚システムの画像では、通常のカメラの画像で問題となっていた床の光沢が除去されており、床の白線が明瞭に検出されている。

図12に通常のカメラの画像および本視覚システム

表 1 自律走行車の諸元
Table 1. Specifications of vehicle

走行速度	20 cm/s
画像解像度	256×256 画素
撮像時間	200 ms
認識処理時間	100 ms

図 11 通常のTVカメラによる画像(a)と視覚システムによる内部反射成分画像(b)
Fig. 11. Representative images by usual TV camera (a) and proposed vision system (b).

図 12 図11(a), (b)の画像からの白線抽出結果
Fig. 12. Line detection results from Fig. 11 (a) and (b).

の画像のそれぞれに対して、白線を抽出した結果を示す。白線の抽出は、Sobel オペレータを施した後に判別分析法によって二値化レベルを決定して二値化することにより行った。同図から、通常のカメラを用いた場合には白線のエッジの一部しか抽出することができないのに対し、本視覚システムを用いた場合には白線のエッジが画像全体にわたって明瞭に抽出でき、本方式が有効であることがわかる。

6. ま と め

2色性反射モデルの仮定のもとに、表面反射率が入射光の偏光方向によって異なることを利用して、反射光を表面反射成分と内部反射成分に分離する方法を提案した。

そして、この方法に基づいて、液晶を用いて光沢を除去できる視覚システムを試作し、その効果と性能を示した。これを自律走行車の視覚に適用し、光沢のある床面でも安定して白線が検出できることを示し、提案した方式の有効性を確認した。

(平成5年4月30日受付)

文 献

- (1) 例えば、田村 編：コンピュータ画像処理：応用実践編2，(平3) 総研出版
- (2) 例えば、石川・瀧波・小沢：「白線認識を利用した無人搬送車における視覚誘導の方式」，信学論，J69-D，580 (昭61-4)
- (3) 汪・加藤・佐藤・井口：「鏡面物体の3次元形状計測」，同上，J75-D-II，1177 (平4-7)
- (4) 寺師・白井・越川：「偏光を用いた光沢物体の表面形状の認識」，電総研彙報，50，No.1，86 (昭61)
- (5) L. B. Wolff: "Using polarization to separate reflection components", Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. CVPR '89, p. 363 (1989)
- (6) G. J. Klinker, S. A. Shafer & T. Kanade: Using A Color Reflection Model to Separate Highlights From Object Color", Proc. of 1st Int. Conf. on Computer Vision, p. 145 (1987)
- (7) 橋本・加藤・森脇・佐藤・井口：「カラー画像を用いた材質感の判別と相互反射の検出」，信学論，J74-D-II，727 (平3-6)
- (8) K. Ikeuchi: "Determining the surface orientations of specular surfaces by using the photometric stereo method", IEEE Trans. Pattern Analysis & Machine Intelligence, 3, No. 6, 661 (1981)

- (9) 西野・白井：「投影光学系を用いた光度差ステレオ法による金属面の形状決定」，情処研報，CV 31-2 (1984)
- (10) 西村・藤村・伊藤・喜安：「M 配列を用いた鏡面物体の三次元形状計測」，電学論 C，112，97 (平4-2)
- (11) 漢野・中野・渡辺：「金属反射を持つ金属物体の面の認識」，信学研資，PRU 87-83
- (12) 例えば，M. Born, et al. (草川，他訳)：光学の原理 I (昭49) 東海大学出版会
- (13) 例えば，佐藤：液晶とその応用 (昭59) 産業図書

山 田 啓 一 (正員)

昭和61年名古屋大学大学院修士課程修了。(株)東芝を経て、平成3年(株)豊田中央研究所入社。以来、自律走行車の視覚に関する研究と開発に従事。現在、同所システム2部所属。電子情報通信学会会員。

中 野 倫 明 (非会員)

昭和57年名古屋大学大学院修士課程修了。同年(株)豊田中央研究所入社。以来、工業用文字認識、三次元計測・認識および自律走行車の視覚に関する研究と応用装置の開発に従事。現在、同所システム2部所属。工学博士。電子情報通信学会、システム制御情報学会会員。

山 本 新 (正員)

昭和40年岐阜大学工学部電気工学科卒業。同年(株)豊田中央研究所入社。以来、電気自動車の制御方式、自動車における電磁障害の計測技術、画像処理を用いた三次元計測・認識および自律走行車の視覚に関する研究と開発などに従事。1984年度IEEE-VTS Paper Award受賞。現在、同所システム2部所属、主席研究員。工学博士。電子情報通信学会、日本ロボット学会、自動車技術会会員。