

広ダイナミックレンジ視覚センサ

山田啓一，中野倫明，山本 新

Wide Dynamic Range Vision Sensor

Keiichi Yamada, Tomoaki Nakano, Shin Yamamoto

要 旨

自動車のための道路環境認識システムの実現には、屋外の様々な照明環境に対応できる広いダイナミックレンジを持ち、動きのある対象物も撮像できる視覚システムが必要である。従来のテレビカメラは、ダイナミックレンジが不足しているために、このような視覚システムに用いることは難しい。そこで、テレビカメラのダイナミックレンジを拡大する方式とその方式による視覚センサを開発した。ダイナミックレンジの拡大は、露光条件の異なる複数画像の合成によって実現した。本視覚センサは、移動体の撮像にも適用できるようにするために、露光条件の異なる画像を短時間間隔で撮像し、合成処理を専用のハードウェアによって実時間で行っている。合成処理には、安定した合成画像が得られる合成アルゴリズムを開発し、これを用いている。日中の高速道路での評価実験の結果、本視覚センサでは従来のテレビカメラに比べて良好な画質の画像が得られ、屋外の様々な照明条件においても対象物のエッジが確実に抽出できた。撮像画像の飽和レベルによる画質の定量評価によっても、この視覚センサの有効性が確認された。

Abstract

The dynamic range of brightness on road scenes is very wide because of the lighting condition which dynamically varies with various weather and road conditions. However, the dynamic range of conventional video cameras is insufficient to input the images of road scenes. Consequently, we have developed a method of expanding the dynamic range of video cameras. Also, we have developed an experimental vision sensor system with a wide dynamic range based on the method applicable to vision systems for vehicles. The effectiveness of this sensor system was confirmed from the experiments on highways under various lighting conditions.

キーワード ダイナミックレンジ，テレビカメラ，道路環境認識，露光条件

1. まえがき

近年、自動車の知能化や予防安全の点から、ドライバの運転支援を目的とした環境認識のための車載システムの研究開発が活発化している¹⁻⁵⁾。これらのシステムは、自動車に搭載したテレビカメラやレーダなどを用いて、走行レーンや前後方の走行車両あるいは障害物などを認識するものである。このような環境認識

システムに入力される道路情景は、昼間の走行環境に限定しても、直射光で照らされた路面、トンネル内や種々の陰などに代表されるように、明るさの範囲が非常に広い。そのため、従来のテレビカメラではダイナミックレンジの不足によって画質の良い撮像画像を得ることができない場合が発生する。

このように、環境認識のための車載システムの実現には、屋外の走行環境など広い範囲にも対応できる広いダ

イナミックレンジを持つ視覚センサが必要である^{6,7)}。さらに、この視覚センサは移動物体など動画像も撮像できることが欠かせない。

広いダイナミックレンジを持つ視覚センサの実現には、撮像素子のダイナミックレンジ拡大による方法と、露光条件の異なる撮像画像の合成による方法とがある。

撮像素子で実現する代表的なものとして、撮像素子を冷却することで雑音レベルを下げる方法や、読み出し用CCDに電荷を転送する前に対数圧縮する方法などによって、ダイナミックレンジを拡大した撮像素子が開発されている⁸⁻¹²⁾。しかし、これらは、撮像画像の読み出しに時間がかかったり、画素数や感度が不足しているために、環境認識システムに用いることは困難である。

一方、撮像画像の合成による方法に関しては、照度やレンズ絞りを変化させて撮像した画像の合成によってダイナミックレンジの広い画像や色精度の良いカラー画像を入力する方法の検討がある¹³⁻¹⁵⁾。また、シャッタースピードを変えて撮像した画像の合成により、色彩情報を重視したカラー画像を入力する方法が提案されている¹⁶⁾。しかし、これらの研究は、いずれもダイナミックレンジ拡大を静止画像を対象にソフトウェア処理で試みたものであり、従来のテレビカメラのように連続画像が取り込める視覚センサが実現された例はない。

筆者らは、移動物体も含め、車載の視覚システムに用いることを目的に、露光条件の異なる複数の画像の実時間合成によってモノクロテレビカメラのダイナミックレンジを拡大する方式とその方式による視覚センサを開発した。さらに、車載実験によってその有効性を確認したので報告する。

2. 車載用カメラに必要なダイナミックレンジ

走行環境における認識対象に、道路の白線や道路端、標識、他車、路上障害物および歩行者などがある。環境認識のためのシステムでは、これらの対象を昼夜およびあらゆる気象条件下で認識できることが理想である。しかし、現状ではそれに対応できる検出技術が開発されていないので、ここでは、日の出から日没までの日中の条件下で検出・認識することに限定することにする。

テレビカメラで検出する物理量は輝度に相当するの

で、車載カメラのダイナミックレンジの条件を明確にするために、道路走行時に遭遇する種々の対象物の輝度を薄暮時を含む日中の様々な日照条件下で調査した。輝度の測定は、車載カメラから対象物を撮像する場合を想定して、約1.6mの高さから俯角5度で行った。Fig. 1は、この結果をまとめたものである。同図において、輝度が最も高いのは日なたの白線で約 $1 \times 10^4 \text{ cd/m}^2$ 、最も低いのは薄暮時およびトンネル内の路面で数 cd/m^2 であり、両者の比は約 10^4 である。従って、 10^4 のダイナミックレンジがあれば、日中の様々な条件下で道路環境の対象物を撮像して検出・認識することができる。カメラの感度については、従来のテレビカメラによっても薄暮条件下の輝度まで撮像可能である。よって、車載用カメラとしては、従来のテレビカメラのダイナミックレンジの明るい側の撮像範囲を拡大することが必要とされる。

以上のことから、開発する視覚センサの目標仕様としては、感度は従来のテレビカメラと同等で、ダイナミックレンジを 10^4 に拡大することとした。

3. ダイナミックレンジ拡大方式

3.1 原理

同一シーンを複数の露光条件で撮像し、これらの撮像画像のなかで有効な情報が得られている画像を画素ごとに選択して合成することにより、広いダイナミックレンジを持つ画像を得る。

この原理の導出のために、ここでは、テレビカメラを次に示すような特性の撮像装置でモデル化する。撮像装置への入射光強度を S と表すとき、撮像装置は光強度 S に比例する明度値 L を出力し、この出力明度値 L は飽和レベル L_{sat} で飽和するものとする。このとき、光強度 S と明度値 L との関係は、

$$L(S) = \begin{cases} ES & (ES < L_{\text{sat}}) \\ L_{\text{sat}} & (ES \geq L_{\text{sat}}) \end{cases} \quad (1)$$

と表される。ここで、 E は露光条件によって決まる比例係数である。以下では、比例係数が E となる露光条件のことを、単に露光条件 E ということにする。さらに、撮像装置の出力に含まれる雑音や出力値を量子化する場合の量子化雑音などを含めて、出力値 L に重畳する雑音を L_{noi} と表すとき、撮像装置のダイナミックレンジは $L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}}$ となる。

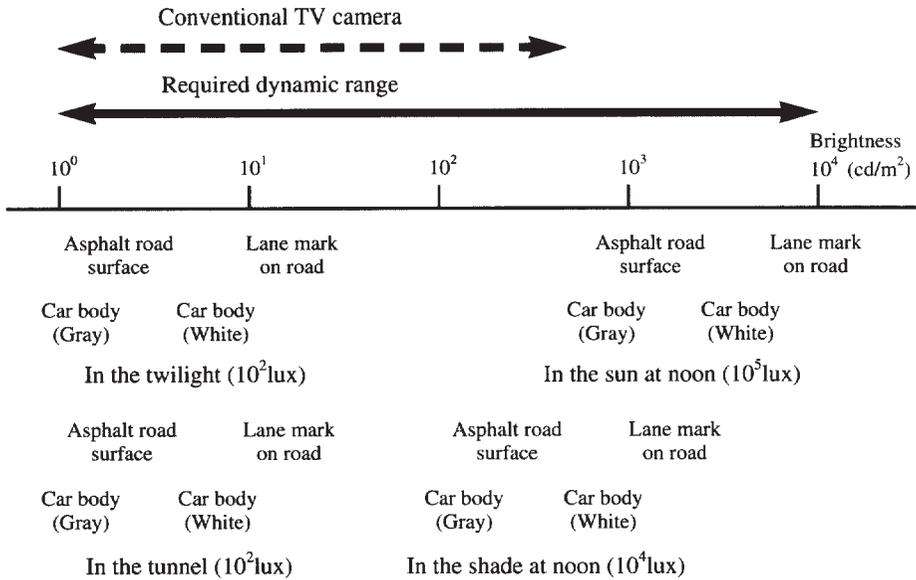


Fig. 1 Brightness of objects in road scenes under various lighting conditions and the dynamic range required for a camera to input the scenes.

いま、次に示すような複数の露光条件で同一場面を撮像する場合を考える。 n 種類の露光条件 E_1, E_2, \dots, E_n に対して、 i 番目の露光条件 E_i が、

$$E_i = E_1 \alpha^{i-1} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

の関係になるように設定して撮像する。ここで、 α は各露光条件を関係付ける定数で、1以上の値とする。例えば、露光時間を α 倍ずつ順次長くしていくことで、このような露光条件が実現できる。これらの露光条件で撮像したとき、光強度 S と出力値 L の関係は、Fig. 2に示すようになる。いま、各露光条件 E_i (但し、 $i = 1, 2, \dots, n$) による撮像の出力値から、それぞれ次式で示される範囲の光強度 S_i を検出するとする。

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_{\text{sat}}}{E_1 \alpha^i} \leq S_i \leq \frac{L_{\text{sat}}}{E_1 \alpha^{i-1}} \quad (1 \leq i \leq n-1) \\ S_i \leq \frac{L_{\text{sat}}}{E_1 \alpha^{i-1}} \quad (i = n) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

すると、撮像装置で検出できる光強度の範囲は、Fig. 2で示されるように、 $L_{\text{noi}} / (E_1 \alpha^{n-1})$ から L_{sat} / E_1 の範囲となり、そのダイナミックレンジは $(L_{\text{sat}} / L_{\text{noi}}) \alpha^{n-1}$ となる。これは、前述した撮像装置自体のダイナミックレンジ $L_{\text{sat}} / L_{\text{noi}}$ の α^{n-1} 倍である。以上のように、 n 種類の

露光条件で撮像してそれらの撮像画像を合成することにより、従来のテレビカメラの α^{n-1} 倍のダイナミックレンジの画像を得ることができる。

次に、各露光条件による撮像画像から、広いダイナミックレンジを持つ画像を合成する原理を述べる。式(2)で示した各々の露光条件 E_i で撮像した画像の画素 (x, y) の明度値を $L_i(x, y)$ (但し、 $i = 1, 2, \dots, n$) と表すとき、ダイナミックレンジが拡大された合成画像の画素 (x, y) の明度値 $L_{\text{wid}}(x, y)$ は、

$$L_{\text{wid}}(x, y) = \begin{cases} L_i(x, y) \alpha^{n-i} & (L_{\text{sat}} / \alpha \leq L_i(x, y) < L_{\text{sat}}) \\ L_n(x, y) & (L_n(x, y) < L_{\text{sat}}) \end{cases} \quad (4)$$

で求められる。すなわち、露光条件 E_i (但し、 $i = 1, 2, \dots, n$) の各画像について、画素ごとに、非飽和かつしきい値 L_{sat} / α 以上であるか否か (但し、 E_n の場合は非飽和か否か) を判定し、条件を満たす場合にはその露光条件の画像の明度値を画像 $L_{\text{wid}}(x, y)$ の該当画素の値として採用する。このとき、各画像は露光条件の違いにより相対的に感度が異なるので、露光条件 E_n の感度に規格化するために、露光感度の比 E_n / E_i すなわ

ち α^{-i} を乗じている。

3.2 方法

前述の原理によってテレビカメラのダイナミックレンジを拡大した視覚センサを実現する方法について述べる。

異なる露光条件での撮像には、単一の撮像素子で順次露光時間を変化させて撮像する方法を採用する。この方法は、入射光を分割して複数の撮像素子により各露光条件で同時に撮像する方法に比べ、入射光分割のための光学系が不必要なので、これによるフレアの発生がないのに加え、構成が簡単になるという特長がある。また、各画像が同一の撮像素子で撮像されるので、素子による感度の違いの影響を受けないという長所もある。一方、各露光条件の画像を時系列的に撮像するので、そのままでは合成画像に対象物の動きの影響が生じる可能性がある。しかし、次に示すように、撮像の高速化や画像の合成方法の工夫によりこの課題を解決している。

撮像には電子シャッタ機能付きのCCD撮像素子を用いたカメラ（以下、CCDカメラと呼ぶ）を用い、短い時間間隔で各露光条件の画像を順次撮像する。例えば露光条件を2種類に変える場合、第4章で述べるように、約1/60秒の時間内に2種類の露光条件の画像を撮像することができる。

各露光条件で撮像した画像から広ダイナミックレン

ジの画像をリアルタイムで得るために、画像合成処理はハードウェアで行う。画像合成処理とCCDカメラの電子シャッタ制御とを行うハードウェアをCCDカメラに付加することで、カメラのダイナミックレンジを拡大した画像が得られるようにする。

前述の原理で示した合成方法では、テレビカメラの撮像特性が時間的に多少変動したり、各露光条件の画像を順次撮像する方法で撮像中に対象物が動いたりした場合、合成画像の明度値が、選択される画像が変わる付近で不連続に変化し、撮像場面には存在しない不連続な境目が合成画像に発生する場合がある。

この問題に対応するため、以下のような画像合成の方法を採っている。露光条件 E_i (但し、 $i = 1, 2, \dots, n$) で撮像した画像の画素 (x, y) の明度値を $L_i(x, y)$ と表すとき、ダイナミックレンジが拡大された合成画像の画素 (x, y) の明度値 $L_{wid}(x, y)$ を、次のようにして求める。

$$\left. \begin{aligned} L'_1(x, y) &= L_1(x, y) & (i = 1) \\ L'_i(x, y) &= \begin{cases} 1 - f(L_i(x, y)) \\ + f(L_i(x, y)) L'_{i-1}(x, y) \alpha \end{cases} & (i \geq 2) \\ L_{wid}(x, y) &= L'_n(x, y) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、 f は、画像を合成するときの重み関数である。また、 L'_i ($i = 1, 2, \dots, n$) は式(5)中での一時的な変数である。Fig. 3に、重み関数 f の形状を示す。前述の画像合成の方法では、しきい値を境にしてその画像を選択

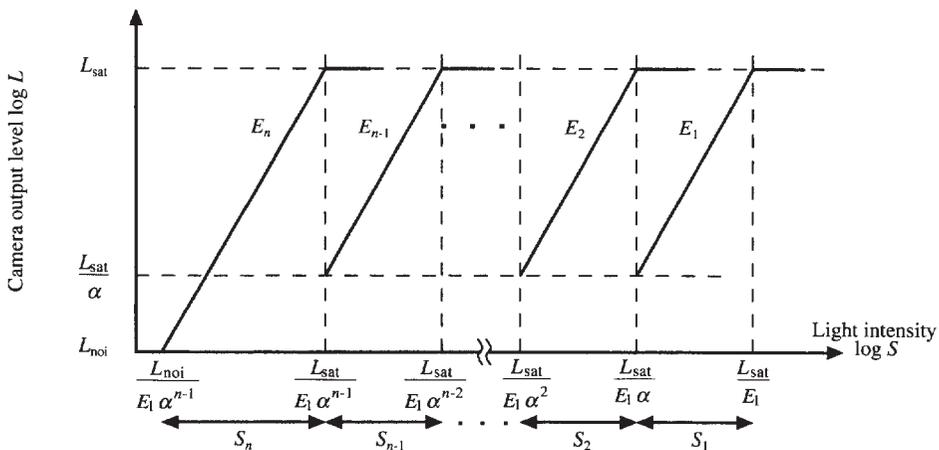


Fig. 2 Camera output level L vs. light intensity S in each exposure condition E_i (where $i = 1, 2, \dots, n$).

するか否かが決められる。これに対し、この合成方法では、明度値 $L_i(x, y)$ によって決まる重み値 $f(L_i(x, y))$ を用いて、各画像の重み付けを行って合成しているので、しきい値付近で画像の選択割合を徐々に変化させることになる。従って、テレビカメラの感度特性が変動したり、対象物に動きがある場合にも、合成画像の明度値が急に変化することが避けられる。

4 広ダイナミックレンジ視覚センサ

4.1 構成

前述の原理を用いてテレビカメラのダイナミックレンジを拡大した視覚センサを開発した。Fig. 4に、この視覚センサのブロック構成を示す。視覚センサは、

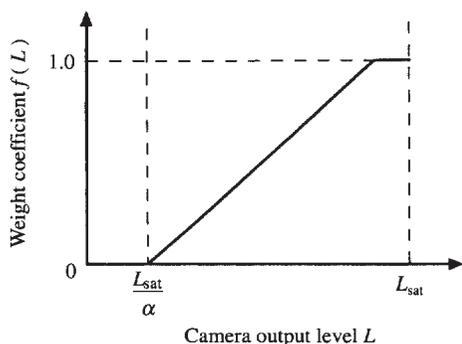


Fig. 3 A profile of the weight coefficient function used to combine the images obtained with different exposure conditions.

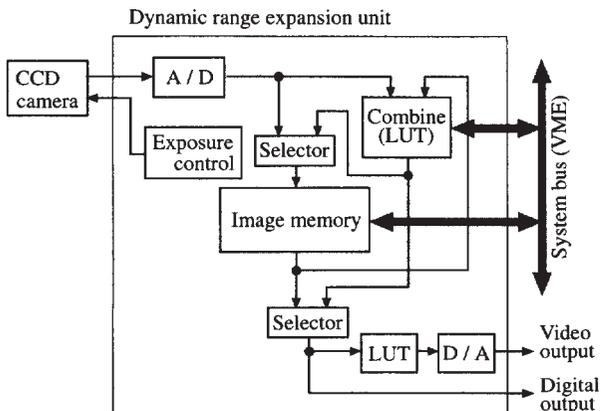


Fig. 4 Block diagram of developed image sensor system.

各露光条件で画像を撮像するCCDモノクロテレビカメラとこのテレビカメラの露光条件の制御や撮像画像の合成処理を行う処理ハードウェアとから構成される。露光条件の制御は、前述のように、テレビカメラの電子シャッタを利用して、CCDカメラは市販品で、電子シャッタスピードを外部から電気信号で制御できるものを用いている。処理ハードウェアでは、テレビカメラの撮像画像出力を256階調にデジタル化し、テレビカメラからの画像出力に同期してリアルタイムで画像の合成処理を行っている。この視覚センサの外観をFig. 5に示す。

Fig. 6に、露光条件が2種類の場合の視覚センサの動作タイミングチャートを示す。テレビカメラの電子シャッタスピードをフィールド単位で変化させて、1/60秒ごとに各々の露光条件で画像を撮像する。テレビカメラはフィールド蓄積で露光して、ノンインタレースで読出している。露光条件を2種類に変化させる場合、Fig. 6に示したように露光条件の短い方を先に撮像することで、約1/60秒の間に2種類の露光条件の画像を撮像できる。そして、2/60秒ごとに合成された画像が得られる。

画像の合成は、CCDカメラから順次各露光条件の画像が得られるごとに、式(5)によって、それ以前までに合成した画像に新たな画像を順に合成していくことで行われる。第1番目の露光条件で撮像した画像はそのまま画像メモリに記憶される。2番目以降の露光条件で撮像した画像は、画像メモリに記憶されている画像と合成され、その結果は再び画像メモリに記憶される。このようにして、最後の露光条件で撮像した画像と画像メモリに記憶されている画像との合成計算で、最終的な合成画像が得られる。

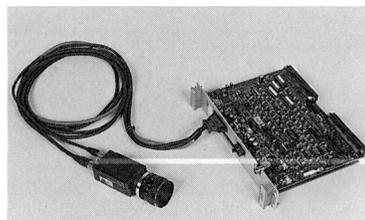


Fig. 5 Appearance of developed vision sensor system.

合成計算は、高速化を図るため、ルックアップテーブル方式を用いている。ルックアップテーブル方式であるので、テレビカメラ出力の非直線性の補正も含めて合成を行い、合成画像が光強度に対して直線性を持つようにできる。また、合成画像の明度値と光強度の関係性を、例えば対数尺度とすることも可能である。画像メモリ上の合成画像は、VMEバスを介してホスト計算機からアクセスできる。

4.2 性能

Table 1に、この視覚センサの性能を示す。視覚センサの合成画像の明度値が入射光強度の対数に比例するように、次のようにして画像合成を行うルックアップテーブルを校正した。まずCCDカメラの出力が直線性を持っていると仮定して画像合成のルックアップテーブルを作成し、視覚センサのレンズの前面に透過率が1/2, 1/4および1/8の光吸収型のNDフィルタ(光量減少フィルタ)を組み合わせて取り付け、種々の入射光強度に対する合成画像の明度値を測定した。そして、これらの測定値をもとに、明度値が入射光強度の対数に比例するように校正されたルックアップテーブルを作成した。なお、露光条件は、シャッタースピードが1/87秒と1/2620秒の2種類とした。このときの、入射光強度と合成画像の明度値との関係をFig. 7に示す。同図より、この視覚センサでは、約 10^4 のダイナミックレンジが得られていることが分かる。

視覚センサの感度は、最も大きい露光条件によって決まる。視覚センサは、フィールド単位で撮像してい

るので、最も長い露光時間は約1/60秒にすることが可能である。これは従来のテレビカメラをフィールド蓄積で動作させたときの通常の露光時間と同じである。従って、この視覚センサの感度は、従来のテレビカメラとほぼ同じである。

撮像される対象物に動きがある場合、露光に要する時間分のぶれが画像に生じる。この時間を撮像時間と呼ぶことにする。視覚センサは、露光条件が2種類の場合、約1/60秒の間に2種類の露光条件の画像を撮像できるので、撮像時間は1/60秒である。これは、従来のテレビカメラをフィールド蓄積で動作させた場合の通常の撮像時間約1/60秒とほぼ同じである。

視覚センサで得られる画像の解像度は、水平方向が564、垂直方向が242である。従来のテレビカメラの画像出力をデジタル化するときの水平方向の一般的な解

Table 1 Performance of developed image sensor.

Dynamic range	1×10^4 [†]
Resolution	564(H) × 242(V) pixels
Minimum illumination	5 lux, F1.4
Exposure time	63.6 μ s to 1/60 sec.
Number of exposure times	2 to 5
Image memory size	1024(H) × 256(V) × 2bytes
Processing board dimension	233 × 160 × 40mm

[†]When the exposure times are 1/87 and 1/2620 sec.

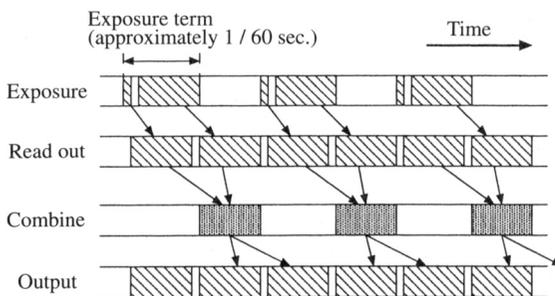


Fig. 6 Timing diagram of the developed image sensor when the number of exposure conditions is two.

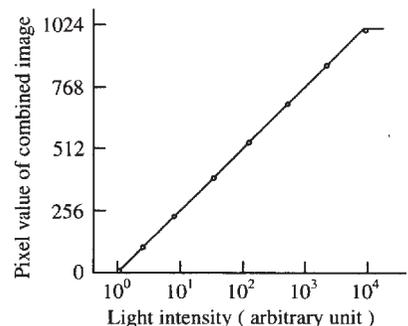


Fig. 7 Performance of developed image sensor : pixel value of combined image with wide dynamic range vs. input light intensity when the shutter times are 1/87 and 1/2620 sec.

像度は512である。また、従来のテレビカメラの垂直方向の解像度は、画像のぶれを1/60秒間に抑えるためにフィールド蓄積ノンインタレース読み出しで動作させた場合、242となる。このように、開発した視覚センサは、従来のテレビカメラをフィールド蓄積ノンインタレース読み出しで動作させたときと同等の垂直解像度を持っている。

開発した視覚センサでは、露光条件が2種類の場合、2/60秒ごとに合成画像が得られるので、フレームレートは30枚/秒となる。これは、従来のテレビカメラをフィールド蓄積ノンインタレース読み出しで動作させたときのフレームレート60枚/秒の半分である。しかし、自動車の視覚システムの認識処理の間隔は一般に1/30秒以上であるので、本視覚センサのフレームレートは自動車の視覚センサとしては十分である。

5. 実験

5.1 実験方法

自動車の環境認識のための車載カメラとしての本方式の有効性を確かめるために、開発した視覚センサを用いて次のような実験を行った。

Fig. 8に、そのときの実験システムを示す。普通乗用車に、従来のテレビカメラ（SONY製 XC-75）およびこの視覚センサを1.6mの高さに俯角5度で取り付け、同一場面を同時に撮像できるようにした。Fig. 9に乗用車へのカメラの取り付け状況を示す。従来のテ

レビカメラでは市販のフレームグラバで256階調にデジタル化した画像を、この視覚センサでは処理ハードウェアの画像メモリ上の合成画像を、それぞれデジタルデータとして記憶して評価に用いた。

高速道路（中央高速道路の小牧東 - 土岐インターチェンジ間約17Km、区間内に2カ所のトンネルがある）を時速約80Kmで走行しながら、従来型のテレビカメラとこの視覚センサとで同一場面を撮像した。天候は晴で、実験時の高速道路の照度は、 10^2 lux（トンネル内）～ 10^5 lux（日なたの路面）であった。本視覚センサの露光条件は2種類に変化させ、シャッタースピードを1/87秒と1/2620秒に設定した。従来のCCDカメラには、明るさの変化に対応するために、自動絞りレンズ（COSMICAR B2514EX-2）を用いた。自動絞りレンズの絞り感度は、あらかじめ道路を走行してできる限り適切なレベルになるよう調整した。本視覚センサには、固定絞りレンズ（COSMICAR B2514C-2）を用いた。レンズの焦点距離は、共に25mmである。

撮像した画像の品質の評価は、情景の情報が欠落することなく撮像できているかどうかという観点で行った。

5.2 実験結果

Fig. 10は、トンネル出口付近を撮像した画像の一例を示したものである。従来のテレビカメラで撮像した画像では前方がハレーションしているが、この視覚センサではハレーションすることなく撮像されてい

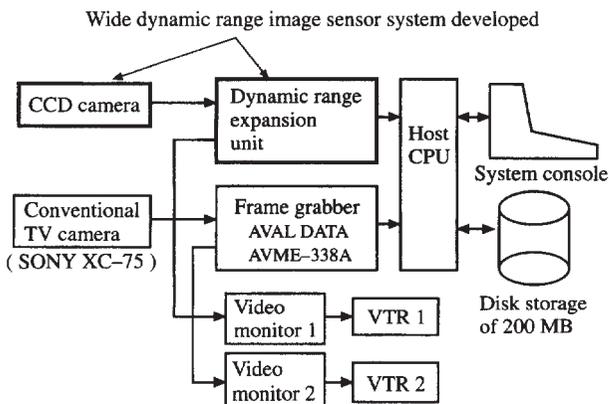


Fig. 8 Experiment system.



Fig. 9 Setting of a conventional video camera and the developed vision sensor onto the car for the experiments.

る。トンネル出口付近は、太陽が直接カメラの視野に入る場合を除くと、最もダイナミックレンジの広い情景であるが、この視覚センサを用いることにより品質の高い画像が得られることがわかる。Fig. 11には他の例として、強い影のある場面の画像を示したが、同図からも本視覚センサの効果が確認される。なお、太陽が直接カメラの視野に入る場合には、太陽光の光強度が路面や白線からの反射光強度に比べて極めて強いため、従来のカメラおよびこの視覚センサのいずれの場合も、レンズのフレアおよびCCD素子のスミアの発生が原因で適切な画像が得られなかった。また、極めて強い逆光状態においても、レンズのフレアが原因となり、適切な画像が得られない場合があった。

次に、画像の品質の改良の度合を評価するために、

従来のテレビカメラとこの視覚センサで撮像した画像について、エッジ抽出を行った。Fig. 12に、Fig. 10の各画像をSobelオペレータを用いてエッジ強調した結果を示す。この結果から、従来のカメラの画像からは白線のエッジの一部しか確認できないのに対し、この視覚センサの画像からはトンネル内部から外部に渡る広い領域で白線のエッジが確認されている。

さらに、この視覚センサを用いることによる画像の改良度合いを定量的に評価するために、従来のテレビカメラおよびこの視覚センサの撮像画像について、明度値が飽和している割合を計算した。Table 2は、Fig. 10に示したトンネル出口付近の画像について、白線とその周り（白線幅の約3倍）の領域内で飽和している画素の割合を求めた結果である。同表から、従来

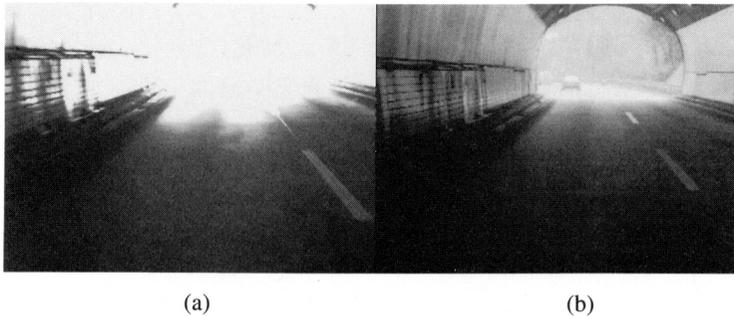


Fig. 10 Images at a tunnel exit obtained with ; (a) a conventional video camera, (b) the developed vision sensor.

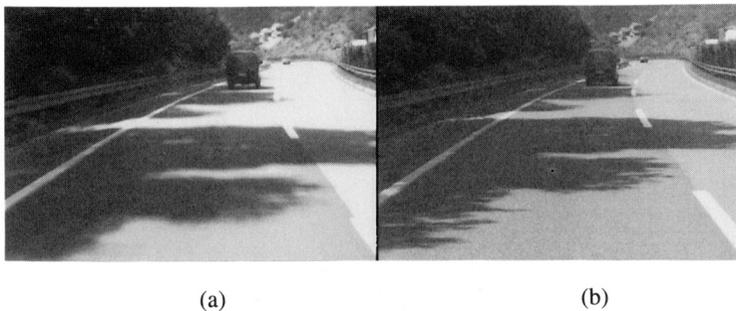


Fig. 11 Images on the road where the sunlight is very bright and shadows are very dark obtained with ; (a) a conventional video camera, (b) the developed vision sensor.

のカメラでは画像入力時の情報の欠落があるのに対し、この視覚センサでは情報が欠落することなく画像入力できていることが認められる。

以上の結果から、露光条件を変えた複数の画像の合成によってテレビカメラのダイナミックレンジを拡大する方法が、車載カメラのダイナミックレンジ拡大に極めて有効であることが示された。

6. まとめ

自動車の環境認識のための視覚システムの開発を目的に、日の出から日没までの日中の走行環境に適用できるダイナミックレンジ拡大方式と、この方式を用いた視覚センサを開発した。さらに、実走行実験によって、この視覚センサの有効性を検証した。

開発した方式は、複数の露光条件で撮像した画像を合成することにより、テレビカメラ自体よりも広いダイナミックレンジの画像を得る原理によるものである。試作した視覚センサでは、テレビカメラのダイナミックレンジを 10^4 に拡大できた。画像解像度、撮像時間および感度は、従来のテレビカメラをフィールド蓄積ノンインタレース読み出しで動作させたときとほ

ぼ同等の性能が得られた。フレームレートは従来のテレビカメラの半分となったが、自動車の環境認識のための視覚センサとしては十分であった。

本視覚センサの実走行による評価実験の結果、この視覚センサでは従来のテレビカメラに比べて良好な画質の画像が得られ、屋外のような照明条件においても対象物のエッジが確実に抽出できることが示された。さらに、撮像画像の飽和レベルによる画質の定量評価によっても、この視覚センサの有効性が確認された。

今後の課題としては、画素分解能の向上およびより高速に移動する物体の撮像を可能にすることが挙げられる。

参考文献

- 1) 農宗千典, 小沢慎治: "高速道路走行画像からの消失点推定に基づく実時間白線検出", 電気学会論文誌C, 113-2(1993), 139
- 2) 尾崎暢, 大空真由美, 平塚芳隆: "自律走行車用視覚情報処理システム", 情報処理学会研究報告, CV-69-8(1990), 1
- 3) 丸屋祥一, 久田見篤, 高橋弘行, 奥野昭宏: "自律走行実験車の開発", 第5回知能移動ロボットシンポジウム, 計測自動制御学会, (1990), 25
- 4) 実吉敬二, 塙圭二, 喜瀬勝之: "三次元画像処理による道

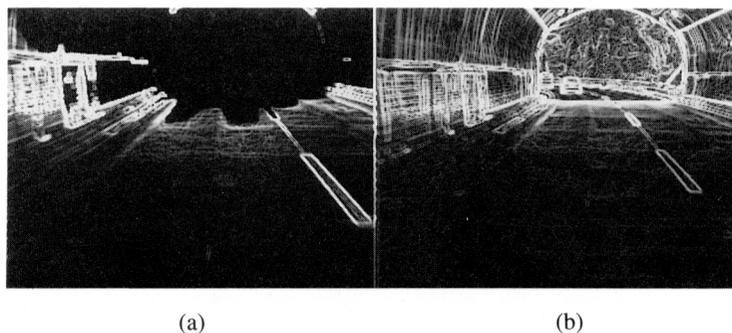


Fig. 12 Edge enhancement result of the images in Fig. 10 using Sobel operator.

Table 2 Percentage of saturated pixels in the area which closes lane marks on the images in Fig. 10.

	~ 20m in the tunnel	20 ~ 40m around the exit	40m ~ out of the tunnel
Developed image sensor	0%	0%	0%
Conventional video camera	0%	14%	100%

- 路形状と障害物の認識", 自動車技術, 46-4(1992), 23
- 5) 鈴木敏彦, 青木啓二, 橘彰英, 森部弘, 井上博允: "コンピュータビジョンによる自動運転システム", 自動車技術会学術講演会前刷集, No.924(1992), 161
 - 6) Thorpe, T., Hebert, M. H., Kanade, T. and Shafer, S. A. : "Vision and Navigation for the Carnegie-Mellon Nablab", IEEE Trans. Pattern Anal. & Mach. Intell., 10-3(1988), 362
 - 7) 農宗千典, 小沢慎治: "パターン・画像情報の処理利用技術 I. 自動車用マシンビジョン", 電気学会論文誌C, 113-12(1993), 1038
 - 8) Chamberlain, S. G. and Lee, J. P. Y. : "A Novel Wide Dynamic Range Silicon Photodetector and Linear Imaging Array", IEEE Trans. Electron Devices., ED-31-2(1984), 175
 - 9) 山田哲生, 池田勝己, 鈴木信雄: "ITCCDのブルーミング防止と広ダイナミックレンジ特性", 1985テレビジョン学会全国大会予稿集, 3-14(1985), 69
 - 10) Ginosar, R. and Zeevi, Y. Y. : "Adaptive Sensitivity / Intelligent Scan Imaging Sensor Chips", SPIE Vol.1001 Visual Communications and Image Processing '88, (1988), 462
 - 11) CCD Image Sensors Databook, (1989), 87, DALSA INC
 - 12) 高田謙二, 石田耕一, 中村里之, 草鹿泰, 岩本剛志, 野村慶一, 鮫島幸一, 西田直樹, 宮武茂博: "対数変換CCDラインセンサ", テレビジョン学会技術報告, 18-16(1994), 25
 - 13) Rangayyan, M. R. and Gordon, R. : "Expanding the Dynamic Range of X-ray Videodensitometry Using Ordinary Image Digitizing Devices", Appl. Opt., 23-18 (1984), 3117
 - 14) 橋本理, 加藤博一, 森脇耕介, 佐藤宏介, 井口征士: "カラー画像を用いた材質感の判別と相互反射の検出", 電子情報通信学会論文誌, J74-D-II-6(1991), 727
 - 15) 浅田尚紀, 松山隆司, 望月孝俊: "多重絞りカラー画像の解析", 情報処理学会論文誌, 32-10(1991), 1338
 - 16) 森脇耕介: "適応露光によるカラー画像の入力方式", 電子情報通信学会論文誌, J76-D-II-9(1993), 1894



山田啓一 Keiichi Yamada

生年: 1961年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理を用いた計測・検査および移動体の走行環境認識に関する研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会会員。

1993年電気学会電子・情報・システム部門大会優秀論文発表賞受賞。



中野倫明 Tomoaki Nakano

生年: 1956年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理を用いた移動体の走行環境認識, 自動車でのヒューマンインタフェースに関する研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 自動車技術会会員。

工学博士。



山本 新 Shin Yamamoto

生年: 1942年。

所属: 画像情報研究室。

分野: 画像処理による計測・検査, 移動体の走行環境認識および自動車でのヒューマンインタフェースに関する研究開発。

学会等: 電子情報通信学会, 電気学会, 計測自動制御学会会員。

1984年IEEE-VIS 年間優秀論文賞受賞。

工学博士。

著者紹介