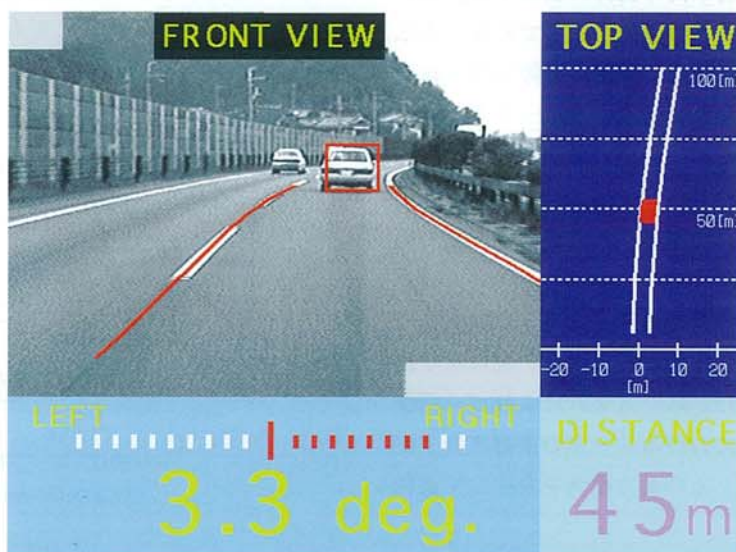


高速道路における走行環境認識

Driving Environment Recognition System on Highway

安木 寿教 *Hisanori Yasugi*
馬場崎正博 *Masahiro Babasaki*
島 伸和 *Nobukazu Shima*
中村 隆一 *Ryuichi Nakamura*



要 旨

近年、各種の電子技術が自動車に取り入れられ、運転操作の安全性・簡易性を向上させるために多くの研究がなされてきた。特に画像処理は、ドライバが運転に必要な情報のほとんどを占める視覚情報（走行レーンや前方車といった走行環境）を直接認識できることから大きく注目されている。

我々は、画像処理を自動車の運転支援システムのキーとなる技術と捉え、走行環境を認識する画像処理アルゴリズムの開発を行ってきたが、今回、ミリ波レーダと組み合わせることにより、従来に比べ認識性能が高く、かつ画像処理の負荷を抑えた新しい手法を開発し、車載画像処理装置により評価を行ったので報告する。

本論文では、画像処理による道路認識アルゴリズム、ミリ波レーダシステムの情報を利用した前方車認識手法について述べ、実際の高速道路における認識結果を紹介する。

Abstract

In recent years, various types of electronic technology have been incorporated in automobiles and many studies are being carried out to improve the safety and ease of driving operation. Especially, image processing has been attracting considerable attention with its ability to directly recognize visual information (driving environment such as a driving lane, a preceding vehicle) on which a driver depends almost entirely for driving.

We have been studying the key technology of image processing for driving support systems, which allows to recognize driving environment. Now, we have developed new driving environment recognition algorithm with high performance and less burden of image processing, and have evaluated with a car-mounted image processing unit, which we developed.

In this paper, we describe road recognition algorithm and a preceding vehicle recognition method with a millimeter-wave radar system. And also we will introduce the results on an actual highway.

1. はじめに

近年、各種の電子技術が自動車に取り入れられ、運転操作の安全性・簡易性を向上させるために多くの研究がなされてきた。その中で、従来の研究がエンジンやサスペンション等の自車両の状態をセンシングし、フィードバックを行うものが中心であったのに対し、最近では自車両の外部の情報を捉えて自車両の制御に反映する、いわゆる運転を支援するシステムの研究が盛んである。運転支援に最も重要な外部情報は自車両前方の障害物の検出であり、障害物捕捉、測距性能に優れるレーダが車載化され、実用にいたっている。一方、画像処理もまた、ドライバが運転に必要な走行レーンや前方車両等の情報を直接認識する技術として特に注目されており、各社で研究が続けられている。

今回、我々は、レーダと画像処理とを組み合わせることにより、それぞれの長所を生かした新しい走行環境認識システムの開発を行った。本システムによれば、画像処理の負荷低減とカーブにおけるレーダの捕捉率向上が実現され、自車走行レーン上の前方車両を安定して認識することが可能である。

本稿では、まず画像処理、レーダそれぞれの技術について紹介した後、2つのセンサの融合技術について述べ、最後に実際の高速道路において認識を行った結果を示す。

2. 画像処理

画像処理では、一般的に図-1に示すような映像から、レーンマークや前方車両の認識、あるいはまた距離の計測が行われる。本システムにおいてはレーンマークの認識は画像処理のみによって行い、前方車両の認識は画像処

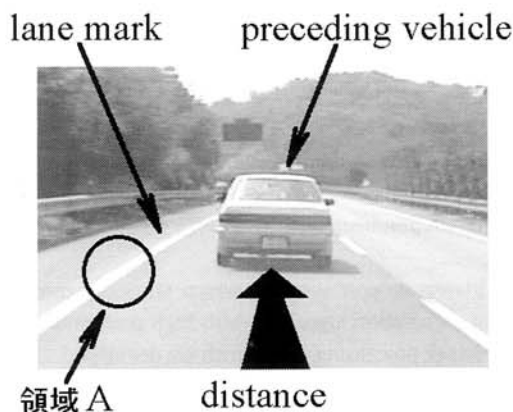


図-1 画像処理概念図

Fig.1 Scheme of image processing

理とレーダとの融合によって実現する。また、距離はレーダにより計測される。

一般に、レーンマークを道路領域内の明るい部分と定義する濃淡基準では影やレーンマークの汚れ等によりうまく認識できないため、我々はエッジ基準を採用した。図-2は図-1中の領域Aを模式的に示したものである。この図に示されるように、エッジとは画像中の濃淡変化が十分大きい部分、いわゆる輪郭線のことで、影や汚れによって濃淡の絶対量が変化しても影響が少ないという利点がある。

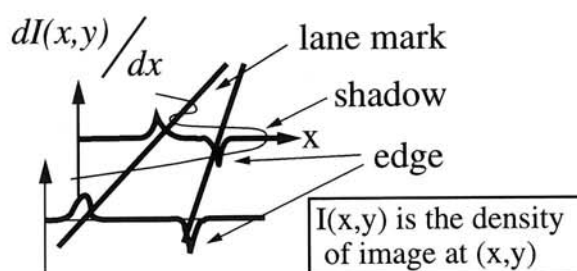


図-2 エッジ概念図

Fig.2 Definition of edge

エッジには濃淡変化の傾きによって正、負の2種類が存在し、また変化の方向によって水平、垂直の2種類が存在する。従来、画像認識では処理量の低減とその扱いの簡便さから、エッジが存在するかしないかの2値の情報を扱うことが多かったが、反面、2値では各エッジ間の位置関係が保たれないため認識結果の信頼性に乏しくなる。我々はエッジをその傾きと方向により9値に分類し、位置情報を残した上で処理量をある程度抑えることができる手法を採用した。

すなわち、表-1のAからIのように9種類に分類したエッジのうち、A、B、D、Gのエッジを持つ画素を連結することで、たとえば図-1領域Aのレーンマーク左側の線が検出できることになるわけである。

表-1 エッジの9値化

		水平エッジ		
		+	0	-
垂直エッジ	+	A	B	C
	0	D	E	F
	-	G	H	I

3. レーザレーダとミリ波レーダ

表-2はレーザレーダとミリ波レーダの性能の比較をしたものである。これによると、レーダとしての距離計測性能はほぼ同等であるが、レーザレーダにはセンシング方向を走査することで道路上の2次元的な距離を容易に

表-2 レーダ性能比較

	レーザ	ミリ波
検出距離	～ 80m	～ 100m
距離分解能	< 1m	< 0.5m
速度分解能	—	< 2 km/h
センサ走査	◎	△
耐環境性	△	◎
複数ターゲット識別	○	○

得ることができるという利点があり、一方、ミリ波レーダには耐環境性の点で信頼性の高いセンシングが可能という利点がある。我々は雨や霧の中でも影響を受けないという点を重視してミリ波レーダを採用し、困難なスキャンニングの代わりに、画像処理によって走行レーンを認識し、それに合わせてレーダを向けるという方法を開発し、カーブ等に対応した。¹⁾

4. 画像処理とミリ波レーダの融合

4. 1 ねらい

表-3は画像処理とミリ波レーダの特性を比較したものである。まず、画像処理はレーンマークの認識に優れているが、前方車両認識や距離測定の点で劣っている。これは、車両のようにその特徴の適当な定義がない3次元の物体を2次元の画像で認識することが困難なためであり、ある程度信頼性を持った認識を行うためには膨大な計算が必要となる。また、通常の可視光カメラを使用する限り、雨や霧のような悪環境条件下では信頼性の低下は免れない。

表-3 画像処理とミリ波レーダの特性

	画像処理	ミリ波レーダ
レーン確認	○	×
前方車両確認	△	△
距離計測	△	◎
耐環境性	×	◎

一方、レーダは平面上に描かれたレーンマークを捕えることは不可能であり、それゆえに捕捉したターゲットが自車の走行レーン上にあるものかどうかを知る手段を持たないが、距離測定や耐環境性の点で優れている。

本システムのねらいは、2つのセンサの融合により両者の共通の弱点である前方車両認識の信頼性を向上することにある。

4. 2 融合アルゴリズム

図-3に画像処理とミリ波レーダとの融合の概念を示し、図-4に処理の流れを示す。

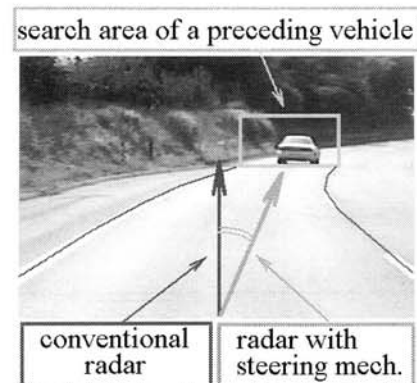


図-3 画像処理とミリ波レーダの融合概念図
Fig.3 Scheme of fusion of image processing and a millimeterwave radar

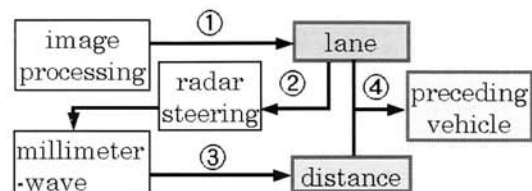


図-4 前方車両認識処理の流れ
Fig.4 Flow of recognition process of preceding vehicle

処理の流れは以下ようになる。

- ① 画像処理によってレーンマークを認識し、自車走行レーンの伸びる方向を計算する。
- ② ①で計算した方向にレーダを向ける。
- ③ レーダによりターゲットの捕捉と距離測定を行う。
- ④ レーダの向きと測定した距離によって決まる位置に、一辺がレーン幅となる矩形領域を設定し、そこに限定して画像処理を行い前方車両を認識する。

すなわち、画像処理においては図-3の矩形探索領域内を解析するだけで車両認識が可能のため、処理の負荷が大

幅に減少させることができる。また、ミリ波レーダにおいては、あらかじめ走行レーンに沿ってレーダを向けているため、カーブにおいても確実に自車走行レーン上の障害物を捕えることができる。

以上のように画像処理とレーダを融合し、お互いの特長をうまく組み合わせることにより、従来にない信頼性の高い走行環境認識が可能となった。

5. 実験システム

5.1 画像処理装置

図-5は我々が開発した画像処理装置のブロック図である。DSPにはT I社のTMS320C40(50MHz)を採用した。

この装置は、3枚のDSPボードと、A/D、D/Aボードから構成され、各DSPボードには2×512×512ワードのビデオメモリを搭載している。それぞれのDSPに

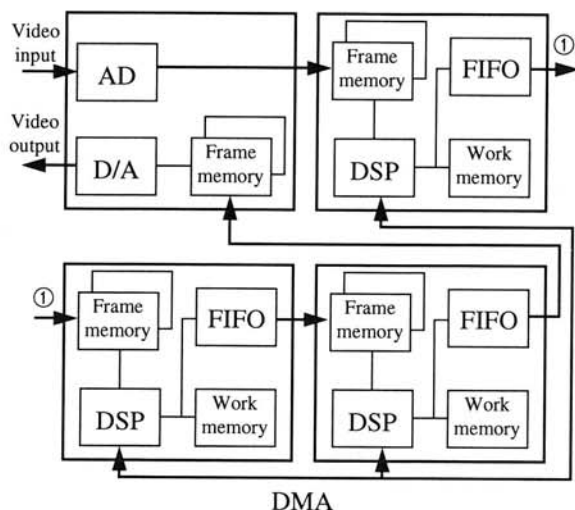


図-5 画像処理装置
Fig.5 Image processing unit

はFIFOラインとDMAラインが接続され、各種データを効率良く転送することができる。

1つめのDSPはA/Dから入力画像を受け取り、9値のエッジ化を行う。2つめのDSPはエッジ情報を受け取り、レーンマークを認識する。並行して3つめのDSPはレーダシステムからターゲットまでの距離情報を受け取って車両を認識し、2つめのDSPで認識したレーンマークデータと組み合わせて、前方車両が自車走行レーン上に存在するかどうかの判断およびレーダ角の計算を行って各種制御ECUに出力する。

5.2 システム構成

評価に用いた実験システムの構成を図-6に示す。走行環境認識は、レーダ、カメラ、レーダ制御ユニット、レーダ操舵制御ユニットおよび前述の画像処理装置から構成される。カメラはドライバの運転視野をカバーするように車室内に前向きに1つ取り付け、また、システムの評価段階においては、夜間での認識能力を把握するためにイメージ・インテンシファイア(光増幅器)を内蔵した近赤外CCDカメラを試験的に用いた。また、認識結果はクルーズコントロールユニットに送られ、前方車両に一定車間距離をあけて走行するアダプティブクルーズが可能のように構成されている。

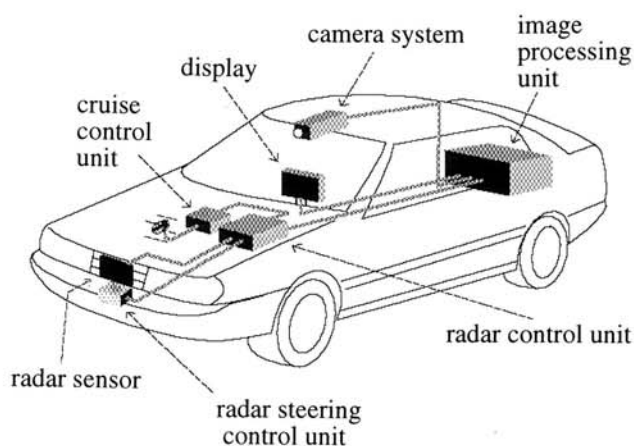


図-6 実験システム構成図
Fig.6 Experimental system configuration

6. 実験

図-7に画像認識結果を示す。レーンマークを太い黒線、自車走行レーン上の前方車両を白い矩形で示している。図(a)では、路側から生じた影や隣接レーンの車両にかかわらず正しい認識が行われているのが判る。また、図(b)では、誤認識しやすい曲率半径の小さいカーブにおいても、隣のレーン上の車を正しく識別できていることがわかる。このカーブの曲率半径は、道路構造令によって定められた、高速道路における最小値レベルであり、このことは、本走行環境認識システムがほぼすべての高速道路において正しく動作することを意味する。



(a) 認識結果 (影あり)



(b) 認識結果 (カーブ)

図-7 画像認識結果

Fig.7 Recognition result

図-8は赤外CCDを用いた夜間での認識結果である。図のように道路照明のない場面でも、自車のヘッドライトだけでレーンマークと前方車両の認識が可能であることがわかる。

次に、システムの実用性を確認するために、カーブが連続する場面において車線変更を繰り返す前方車両の識別性能を試験した。(図-9)



図-8 夜間認識結果

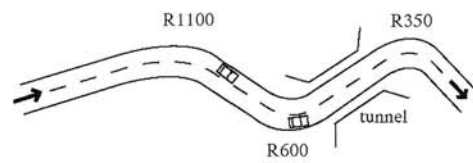
Fig.8 Recognition result at night

図より以下のことが判る。

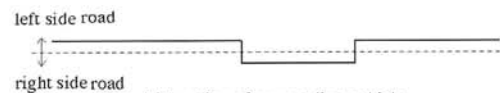
- ・カーブの先にある同一レーン上の車両が正しく認識され、カーブの向うにある隣のレーン上の車両を識別できている。(図-9-(b), (c))
- ・レーダ角の値は道路形状をトレースするように滑らかに変化している。(図-9-(d))
- ・トンネル内においても安定した認識結果が得られている。

Experiment condition

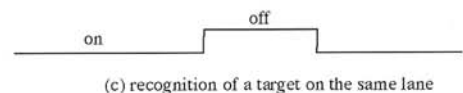
preceding vehicle : drive at 80 km/h on the left side
or on the right lane
ego-vehicle : drive at 80 km/h on the left side lane



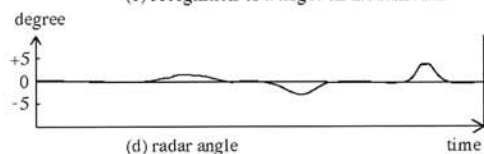
(a) experiment road map



(b) location of a preceding vehicle



(c) recognition of a target on the same lane



(d) radar angle

図-9 走行環境認識結果

Fig.9 Result of driving environment recognition

また、トンネルの出入口近傍の、カメラのオートアイリスが対応できない状況においてもミリ波レーダは影響を受けないため、認識が不安定になることはなかった。

最後に、我々は本環境認識装置を運転支援の一つの例としてアダプティブクルーズシステムに試験的に適用した。評価はテストコース上での追従走行により行い、装置の認識速度や精度が制御性に与える影響を調べた。その結果、確実に前方車を捉え、スムーズな車速制御が可能であることが確認された。

なお、本アダプティブクルーズシステムでは減速制御をエンジンブレーキとオーバドライブの解除で行っているために減速度を大きくとれず、前方車両への接近速度が大きい時にはドライバーのブレーキ操作が必要であった。自動ブレーキ制御については今後の課題である。

7. 結論

我々は、画像処理とレーダを融合した、高速道路走行環境認識システムを開発した。また、その融合アルゴリズムを開発し、画像処理の計算負荷の低減と、認識率の信頼性向上との両立を実現した。さらに画像処理センサにイメージ・インテンシファイアを内蔵した赤外CCDを用いることで、夜でもシステムが有効に作用することを確認した。レーダには、雨や雪等の悪天候時でも安定して複数のターゲットが認識可能なミリ波タイプを適用することで、総合的に信頼性の高い走行環境認識システムを実現した。

さらにまた、開発した走行環境認識システムをアダプティブクルーズコントロールシステムに適用し、その実用性を確認した。

8. おわりに

我々は現在、さまざまな環境下での認識の信頼性向上に取り組む一方、渋滞時の低速走行から巡航までの全速度領域のアダプティブクルーズシステムの検討を行っており、将来の自動運転システムにつながる重要なステップと考えている。

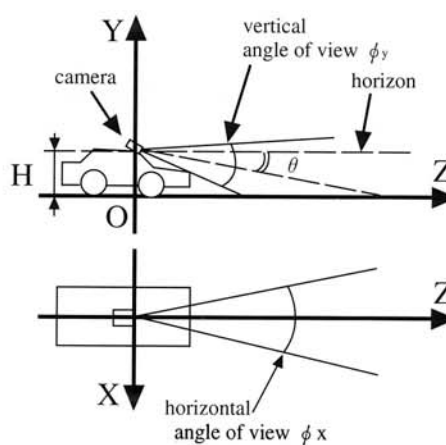
参考文献

- [1] M. Kamimura and N. Shima, et. al., "Millimeter-Wave Automotive Radar Using Digital Signal Processing", SAE PAPER No. 930552 (1993)
- [2] H. Yasugi and N. Shima, R. Nakamura, "Driving Environment Recognition System on Highway", ITS95 vol3 p1116 (1995)
- [3] 島伸和, 鎌田洋, "実時間高速道路環境認識システム", 第24回画像工学コンファレンス論文集 p61

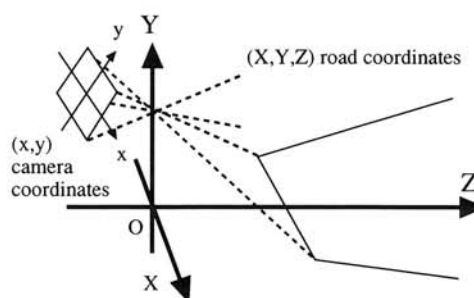
Appendix

レーダ測距データからカメラ座標への変換原理

図Aにカメラシステムのパラメータを示す。X、Y、Zは実際の道路座標で、それぞれ水平方向、垂直方向、自車両進行方向で、Hはカメラの取り付け高さ、 ϕ_y は垂直画角、 ϕ_x は水平画角、 θ は俯角である。図Bにカメラ-道路座標系を示す。カメラ座標においてxは水平軸、yは垂直軸で、カメラの焦点oをY軸上に配置する。



図A カメラパラメータ



図B 座標系定義

このとき、カメラ座標 (x、y) と道路座標 (X、Y、Z) との間には以下の関係が成立する。

$$x = \frac{X(\sin^2 \theta - \cos^2 \theta)}{J(H \sin \theta + Z \cos \theta)} \quad (1)$$

$$y = \frac{Z \sin \theta - H \cos \theta}{K(H \sin \theta + Z \cos \theta)} \quad (2)$$

ここで、

$$X = d \sin \delta \quad (3)$$

$$Z = d \cos \delta \quad (4)$$

$$K = \tan\left(\frac{\phi_y}{2}\right) / \left(-\frac{R_y}{2}\right) \quad (5)$$

$$J = \tan\left(\frac{\phi_x}{2}\right) / \left(-\frac{R_x}{2}\right) \quad (6)$$

また、 d はレーダによって検出された前方車両までの距離、 δ はレーダセンシング方向と Z 軸との間の角度（レーダ角）、 R_x は画像の x 方向の解像度、 R_y は y 方向の解像度である。

筆者紹介

安木 寿教（ヤスキ ヒサノリ）



1985年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在技術開発部在籍。

馬場崎 正博（バハサキ マサヒロ）



1990年入社。以来DSPを応用した電子機器の開発に従事。現在技術開発部在籍。

島 伸和（シマ ノブカズ）



1991年入社。以来画像処理等の信号処理システムの開発に従事。現在技術開発部在籍。

中村 隆一（ナカムラ リュウイチ）



1980年入社。以来自動車用電子機器の開発に従事。現在技術開発部プロジェクト課長。