

運転支援システム用フュージョンセンサの開発

Fusion Sensor for Driving Assistance System

島	伸和	Nobukazu Shima
馬場崎	正博	Masahiro Babasaki
秋月	義樹	Yoshiki Akidzuki
本田	加奈子	Kanako F. Honda
樋口	崇	Takashi Higuchi
東田	博文	Hirofumi Higashida
中村	隆一	Ryuichi Nakamura



要 旨

自動車の利便性や安全性の向上を目指した運転支援システムの開発が自動車メーカーを中心に世界中で推進されている。そのシステムの一つとして高速走行時に安全な車間距離を保って車速を制御するACC（Adaptive Cruise Control System）は、高級車に搭載され認知度も向上してきている。このシステムには、レーザレーダやミリ波レーダという最新のセンシング技術が採用されている。

今回、我々は次世代の運転支援システムとして「渋滞走行支援システム」の実現を目指し、このシステムに最適なセンサとしてミリ波レーダと画像認識センサを融合させた「フュージョンセンサ」を開発した。このセンサは、単独のセンサでは実現できない距離、角度精度の両立を実現している。我々はフュージョンセンサを搭載した渋滞走行支援システムの実験車両を製作し、センサの実用性を確認した。

本稿では、我々の考える渋滞走行支援システムとフュージョンセンサについて紹介する。

Abstract

The development of driving assistance systems that improve automobile convenience and safety is being promoted throughout the world, primarily by automobile manufacturers. One such system is the Adaptive Cruise Control (ACC) System, which controls the vehicle speed and maintains a safe head-up distance while driving at high speeds.

The ACC has been installed in luxury cars, and its recognition capabilities have been improved. This system makes use of state-of-the-art sensing technologies such as laser radar and millimeter-wave radar.

With the aim of creating a "Driving Support System for Congested Traffic" as a next-generation driving assistance system, we have developed a "fusion sensor" as an optimal sensor for this system by blending millimeter-wave radar with an image recognition sensor. This sensor achieves both distance and angle accuracy, which an independent sensor cannot achieve. We manufactured a test vehicle that was equipped with the Driving Support System for Congested Traffic and fusion sensor, and were thus able to verify the sensor's practical use. This report will introduce the Driving Support System for Congested Traffic and fusion sensor that we have conceived.

1. はじめに

自動車の安全性や利便性の向上を目指した運転支援システムが、実用化されつつある。このような運転支援システムの一つのアイテムとして、渋滞時の運転を支援する『渋滞走行支援システム』がある。

我々は、この渋滞走行支援システムに適したセンサとしてミリ波レーダと画像認識技術を融合させた『フュージョンセンサ』を開発したので紹介する。

2. ねらい

近年、交通事故や渋滞などといった交通問題の解決を目的とする、新しい交通システムへの取組みが推進されている。この取組みは、ITS (Intelligent Transport Systems) とよばれ、その分野の一つに、『安全運転の支援』が上げられている。これは、「走行環境情報の提供」や「危険警告」、「運転補助」といった機能により、自動車の安全性やドライバの利便性を向上させる目的がある。これにより交通事故を減少させ、ドライバの運転を楽しむことをねらいとしている。

2.1. 技術動向

『安全運転の支援』の研究開発は、自動車の高知能化により安全性を高めた先進安全自動車 A S V (Advanced Safety Vehicle) と、情報通信技術を活用した走行支援道路システム A H S (Advanced Cruise-assist Highway Systems) が代表的である。これらは、様々な運転支援システムを組合せた統合システムであり、個別の運転支援システムとしては、高速走行時に安全な車間距離を保って、車速を制御する A C C (Adaptive Cruise Control System) が、既に実用化されている。

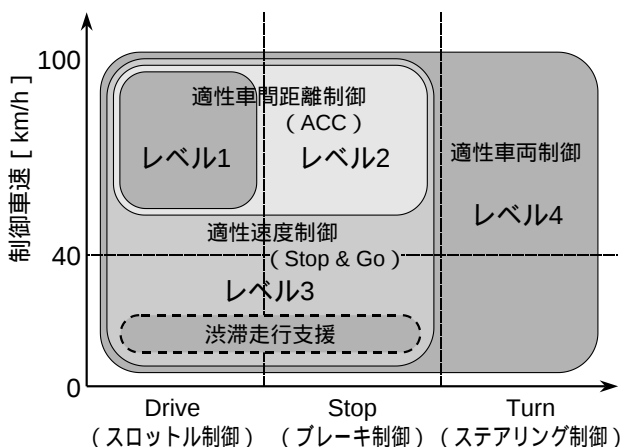


図-1 制御範囲と車の3大機能
Fig.1 Control range and vehicle's three major functions

我々は、運転支援システムの発展が図-1のレベル1からレベル4へと実用化されていくと予測する。レベル1およびレベル2は既に実用化されているACCであり、レベル2にはブレーキ制御が含まれる。レベル3になると制御領域が低速域まで拡大され、レベル4になるとほぼ自動運転に近いシステムになる。

しかしながら、レベル2からレベル3への移行は、高速走行からの完全停止や発進制御を含むため、ユーザから見るとステアリング制御を伴わない一種の自動運転のように感じ、また自動車メーカーから見ると十分な安全性を確保することは難しく、実用化に向けての課題は大きいと考えられる。

そこでレベル3の中でも特に低速時(渋滞)のみに限定したシステムとすれば、自動運転的なイメージも薄れ、技術的課題も低減し、より早い時期に実用化できるシステムになるのではないかと考えた。

2.2. 渋滞走行支援システム

このような構想に基づき、渋滞走行支援システムの基本機能について検討した。このシステムのねらいは、以下の2点である。

- (1) 渋滞走行中の、発進・停止の繰返しによる運転動作のわずらわしさの解消とドライバの負荷軽減。
- (2) 先行車両の割り込みなど危険状態に対する警報による居眠り、脇見事故の防止、軽減。

図-2は基本的なシステムの動作例を示している。

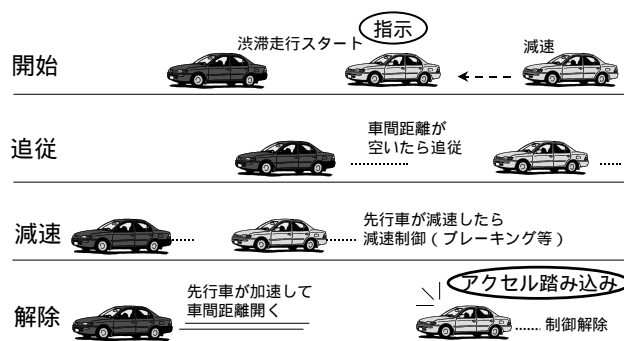


図-2 システム動作例
Fig.2 System operation (example)

動作を限定すれば、ユーザの使いやすさ・わかりやすさは向上し、市場にも受け入れられやすいと考える。ただし、システムの開始/解除を含め運転の主体は、あくまでドライバとすることが前提である。

このような渋滞走行支援システムの実現を目標として、これに適したセンサの開発を着手することとした。

3. センサの開発目標

渋滞路で追従して走行する場合、前方車両との間隔は狭く、また割込んでくる車両にもドライバは注意を払う必要がある。渋滞走行支援システムに必要なセンサは、こうした状況下において適切に判断できる能力が必要となる。

3.1. 要求仕様

まず、渋滞走行支援システムの制御をモデル化し、シミュレーションによりセンサへの要求仕様を導き出した(表-1)。

表-1 システムに必要なセンサ性能
Table 1 Sensor performance required by system

項 目	要求値
距離精度	20%あるいは2mの小さい方
検知範囲	認識角40 程度
角度精度	物標端に対し1.0 以下
相対速度精度	±2km/h以下
応答性	割込みに対し500ms以下
認識対象	車・バイク

渋滞走行支援システムに必要なセンサは、距離精度はもちろん、広い視野角と横位置の角度精度が要求される。

この広い視野角を認識できるセンサとしては画像認識センサがあげられる。しかし画像認識センサは、広角にすればするほど遠方側の測距精度が悪くなる。

そこで、ACCが搭載された車両には、既に測距精度の高いレーダが搭載されていることに着目し、これに広角度の画像認識センサを組合せれば、要求仕様を満足できると考えた。

レーダとしては、当社がACC用に開発したミリ波レーダを使用した。ミリ波レーダは、物体の種類によらず検知が可能であり天候によって左右されないという特長がある。

それぞれの長所を融合(フュージョン)すれば、さらに高い性能が期待できる。

3.2. センサフュージョン

フュージョンセンサのねらいを以下に示す。

- (1) 1つのセンサでは不可能な距離精度と検知範囲、角度精度の実現。信頼性の向上。
- (2) 画像認識センサへの要求性能の低減と低価格化。

特に低価格なセンサの実現は、システムの普及の過程においても重要な項目の一つであると考える。

ミリ波レーダは、ACCでの必要性能を満足するよう

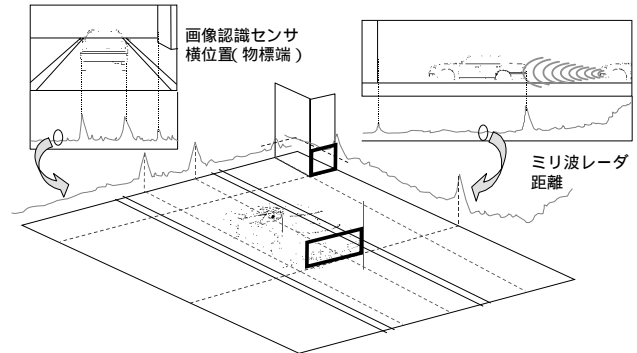


図-3 フュージョンの考え方
Fig.3 Concept of fusion

に検知幅は狭いが遠距離までの距離精度を保持している。

そこで、画像認識センサは、測距の精度よりも横位置(物標端)を精度良く認識することに重点をおいた仕様とした。この横位置とミリ波レーダの距離を組合せることで物標の距離・位置は精度良く認識できる(図-3、図-4)。

この考え方により、画像認識センサは、処理量を削減し低価格化できると考えた。

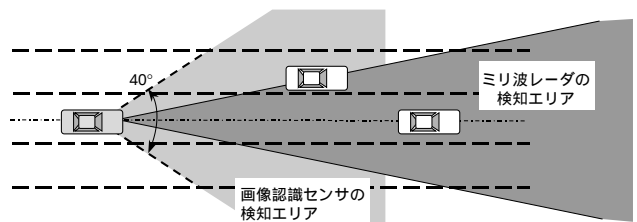


図-4 検知エリア
Fig.4 Detection area

4. ミリ波レーダ

ミリ波レーダは、出力信号以外はACC用に開発したセンサをそのまま使用している。

当社のミリ波レーダは、物標の移動や停止によらず瞬時に距離と相対速度が検知でき、また相互干渉の影響を受けにくい、FM-CW(Frequency-Modulated Continuous Waves)方式を採用している。さらに、カーブ路においても検知できる角度幅を確保するために、メカニカルスキャン方式を採用している。

表-2 ミリ波レーダ仕様
Table 2 Millimeter-wave radar specifications

項目	内容
最大検知距離	140m
検知幅	±8 °
相対速度範囲	-100km/h ~ +200km/h
精度	距離 ±1mまたは±5%の大きい方
	角度 ±0.5 以下
	速度 ±5.5km/hまたは±5%の大きい方



図-5 ミリ波レーダ
Fig.5 Millimeter-wave radar

5 . 画像認識センサ

画像認識センサは、渋滞走行支援システムに特化することで、思い切った要求性能の低減と低コストをねらった。

5 . 1 開発目標

今回、画像認識センサは、ステレオカメラと認識処理を行う画像処理 E C U (Electronic Control Unit) を別体構成とした。

ステレオカメラは、ルーフから吊り下げる方法と、ルームミラーとガラスの間に固定する方法が考えられる。今回は、取付けの自由度の高い後者の方法を選択した。

またステレオカメラは、ドライバの視界への影響を最小限にする必要があり、小型化への要求が非常に高い。我々は、将来的にステレオカメラと認識処理部を一体化することを考慮に入れ、そのスペースを確保しつつ、小型化することとした。

表-3 画像認識センサの目標仕様
Table 3 Target specifications for image recognition sensor

項目	内容
最大検知距離	30m
検知幅(角度)	±20 °
精度	距離 12m以下の範囲で±20%以内
	角度 物標端に対し±1.0 以下
大きさへの要求	ドライバの視界の妨げがないこと。将来的にカメラと認識に必要な処理回路を一体化できる大きさであること。

5 . 2 . ステレオ測距理論

画像認識では、三角測量の原理を用いて距離を求める。ステレオカメラは、2 台のイメージセンサを一定の間隔（基線長）で水平に配置し、光軸は前方に向け垂直に配置する。このとき互いのカメラから得られる画像上において同一物体は、左右にずれて見える。このずれ量を視差^{注1}といい、この視差から前方の物体までの距離は以下の式により求めることができる。

$$\text{距離 } D = \frac{f \cdot B}{F (X_b - X_a)} \quad [\text{m}]$$

f : カメラの焦点距離 B : 基線長

F : 画素ピッチ X_a, X_b : 画像中の横方向座標値

(注1) 視差 = $X_b - X_a$ となる)

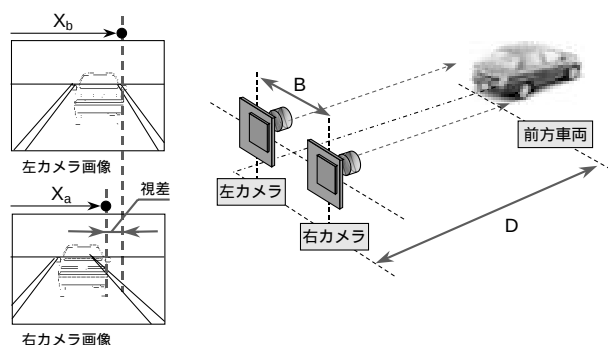


図-6 ステレオ測距方式
Fig.6 Stereoscopic ranging method

5 . 3 . ステレオカメラ

今回、カメラの撮像部（イメージセンサ）には、C M O S (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) センサを採用した。C M O S センサは、コストも安く消費電力が少なくできるが、従来の C M O S センサは、C C D (Charge Coupled Device) に比べ画質が悪く、画像認識には適さなかった。しかし、近年モバイル機器用として開発が進み、

表-4 ステレオカメラ仕様
Table 4 Stereo camera specifications

項目	内容
大きさ	235 × 50 × 50mm
重さ	340g
消費電流	45mA(Typ.)
基線長	200mm
水平画角	41.3 °



図-7 ステレオカメラ外観
Fig.7 Stereo camera

社内で画質やダイナミックレンジなどについて評価を行った結果、CCDと同等の性能が得られると判断し採用することとした。

またステレオカメラの形状は、ルームミラーよりもひと回り小さくし、ドライバの視界への影響を少なくしている。本体中央部には、画像処理ECUの画像認識に必要な処理回路が入るスペースを配置する構造とした。

ステレオ方式のカメラにおいては、イメージセンサの回転ずれやレンズの歪み、光軸のずれなどが発生し、これらに起因する測距誤差が生じる。これに対し、カメラの機構部に誤差要因の低減策を、またソフトウェアによる誤差の補正を行うことで、精度を確保している。

5.4. 画像処理ECU

画像処理ECUは大きく分けて、FPGA(Field Programmable Gate Array)部、DSP(Digital Signal Processor)部、マイコン部で構成され、それぞれ映像信号処理、画像処理、フュージョン処理を行なっている(図-8)。ステレオカメラとの接続は、安定した映像入力を得るためデジタル化した。また車載しての評価を効率的に行うため、映像出力やシリアル入出力回路も搭載している。

認識処理に必要な回路は、低価格化のため汎用CPUを採用し、FPGAによる部品点数削減により小型化を

はかった。この部分の基板面積は、ほぼステレオカメラに収まる目標サイズを実現している。

表-5 画像処理ECU仕様
Table 5 Image processing ECU specifications

項目	内容
大きさ	335 × 150 × 31.5mm
基板面積(認識処理部)	14300mm ²
処理周期	100ms
映像信号インターフェイス	デジタル

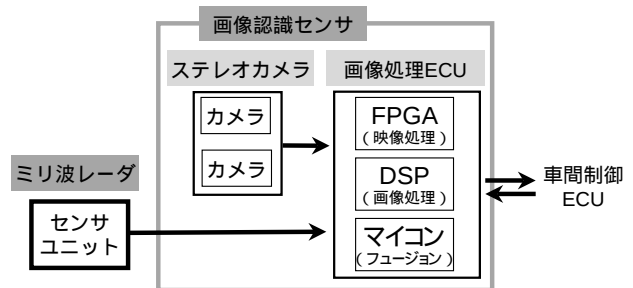


図-8 信号処理の構成
Fig.8 Signal processing structure



図-9 画像処理ECU外観
Fig.9 Image processing ECU

5.5. 認識アルゴリズム

画像認識による測距方法としては、画面を小領域に分割し、この領域に対して反対側の画像中から対応の取れる位置を求める方式(パターンマッチング)が一般的である。このパターンマッチングを画面全体で実行し、距離の分布を求めたものを距離画像という。

この距離画像を求める方法は、処理量が膨大で汎用的なCPUでは実現が難しい。また、ハードウェアで実現する場合は、回路規模が大きくなる欠点があった。

フュージョンセンサは、画像認識センサに対し高い測距分解能を要求しないので、汎用CPUで実現できる処理量の少ない認識アルゴリズムを開発することとした。

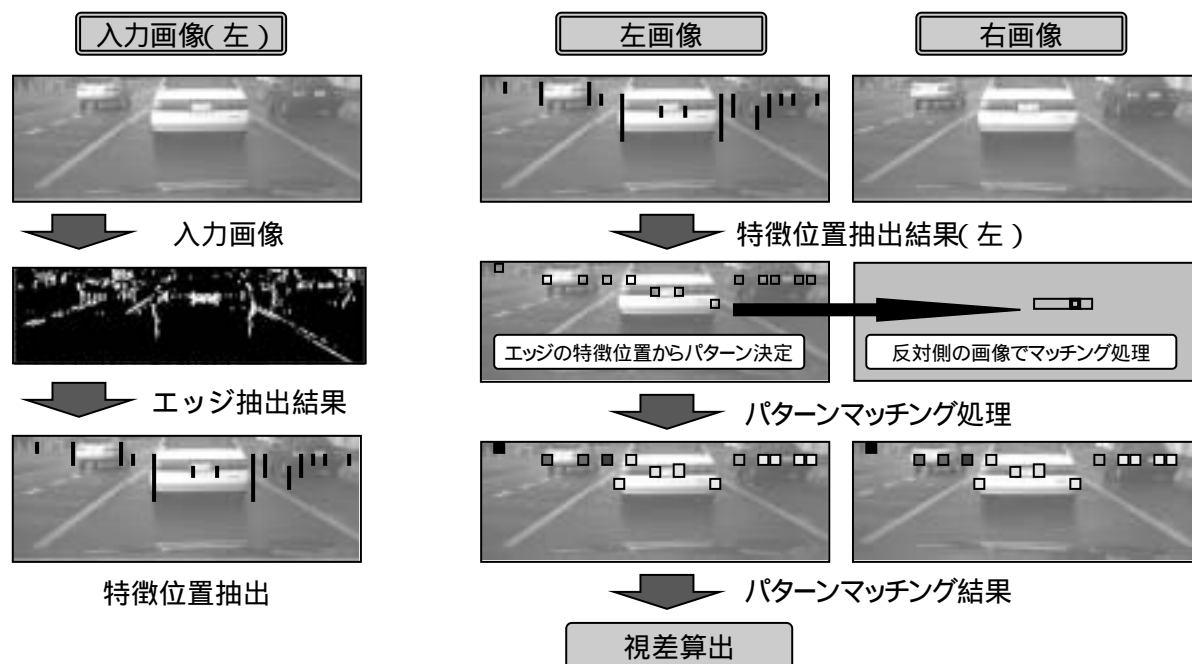


図-10 エッジ処理と特徴点抽出結果

Fig.10 Results of edge processing and characteristic point extraction

図-11 パターンマッチング

Fig.11 Pattern matching

我々は、処理量の多いパターンマッチングの時間を短縮するため、『エッジ+パターンマッチング』という方式を開発した。この方式は以下の手順で処理を行う。

(1) 最小限必要な物体の特徴位置抽出 (図-10)

物体の輪郭線を抽出するフィルタ処理 (エッジ抽出) を行い、このとき抽出されたエッジの連続性や座標位置などから判断し、物体の端点 (物標端) を含む特徴位置を抽出する。特徴位置として抽出しなくてよい路面文字や白線なども抽出されるが、別途行う白線認識の結果と照合し除去する。

(2) 特徴位置におけるパターンマッチング (図-11)

特徴位置として抽出した小領域のパターンに対し、反対側の画像中のそのパターンが存在する可能性のある領域中から、最も相関の高い位置を抽出する。それぞれの位置より視差を求め、距離を算出する。

測距に関する処理は、一般的な画像認識の手法と変わらないため精度の低下はなく、しかも処理量は飛躍的に減らすことができる。

また、最適な画像を得る手段としてカメラ制御、影を識別するための認識対象物の高さ判断、入力画像不適切などの状態を認識するダイアグ機能を、織込んでいく。

6. フュージョン

フュージョンセンサの最終出力は、車両前方にある物

標までの距離と相対速度、横位置である。これに対し、ミリ波レーダや画像認識センサも、距離や横位置を出力することはできる。しかし、すでに認識に対する情報の選択が行われた後の各センサの出力を組合せても、それ以上の結果を得ることは不可能である。

そこで各センサは、処理の上流のデータを含めて出力することにした。画像認識センサの出力するエッジデータと、その周辺に存在するミリ波レーダのパワーデータを対応づけ、エッジの左右に物が存在する確率を計算する。そしてエッジの左右で存在確率に一定以上の差がある場合を物体の端と判断し、面を形成する。

これにより、より正確な判断が可能となり、認識性能や信頼性を向上させることができる。

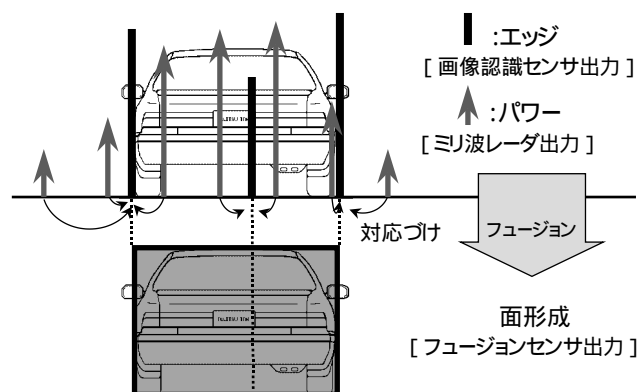


図-12 フュージョンアルゴリズム

Fig.12 Fusion algorithm

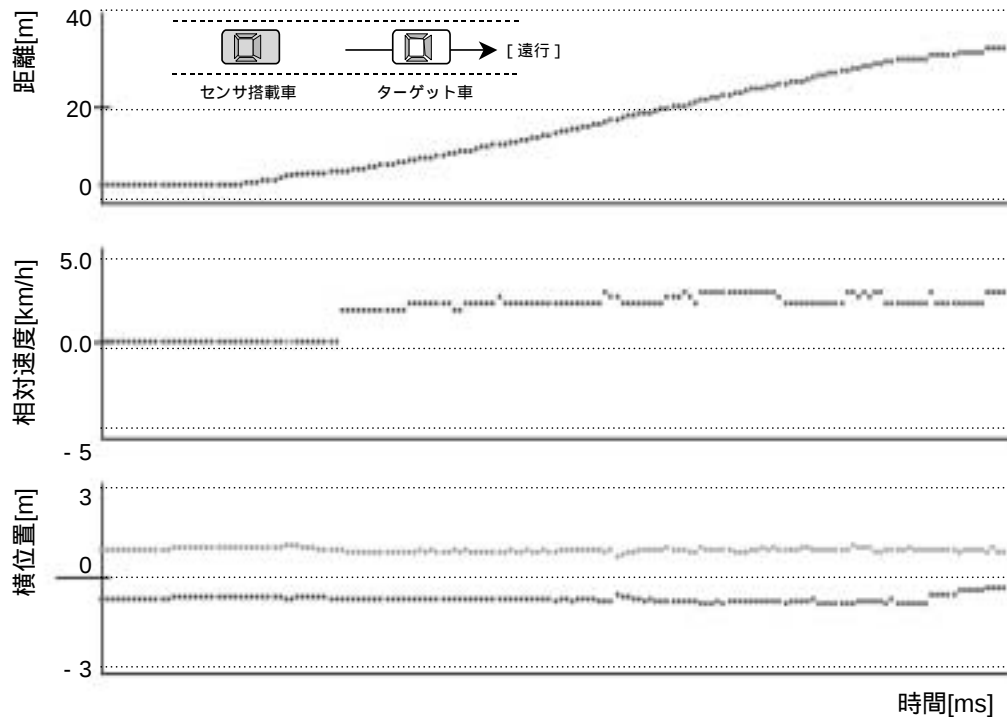


図-13 遠行時のセンサ出力
Fig.13 Sensor output when object is distant

7. 評価

認識性能については、以下の評価を実施した。

- (1) テストコース：距離、相対速度、角度の精度や割り込み時の応答性などの定量的評価。
- (2) 一般道：ダイナミックなセンサ性能評価。

他にも、夜間や雨天などの各種悪環境についても、随時評価を実施している。

7.1. 定量的評価

測距精度や角度精度は、正確に測定を行うため車と同等サイズの長方形の板で構成した標準ターゲットを用いて評価している。これを用いた精度試験においては、距離、角度とも要求仕様を満足した。

図-13は、フュージョンセンサを搭載した自車は停止し、前方のターゲット車両が遠行するような場合の認識結果を、時系列的にグラフ化したものである。グラフから距離、相対速度、横位置は安定して出力されていることがわかる。

図-14は前方車両と割り込み車両が存在するときの認識結果である。認識した物標端を線で示しており、距離に応じて線の長さを変えている。面として捉えることのできた場所は枠で囲んでおり、自車が走行可能な領域を斜線で表示している。画面上部には、自車速と先行車両までの距離を示している。このように先行車両を面として捉

え、また割り込み車両の先端部も測距しているのがわかる。自車の前方10m付近で、自車の走行可能領域に割り込んできた車両をに対しては、ミリ波レーダのみの場合と比較すると500ms早く認識できた。



図-14 認識結果1 (割り込み)
Fig.14 Recognition results 1 (vehicle cut-in)

7.2. 一般道での性能評価

図-15は一般道での認識結果である。一般道においては、遠景やガードレール、白線などが誤認識の要因となることが多い。このような環境下においても、フュージョンセンサは、画像の物標端とミリ波レーダのパワーの分布状態から、適切に物体を認識することができる。



図-15 認識結果 2 (一般道)
Fig.15 Recognition results 2 (local traffic)

8. 実験車両紹介

渋滞走行支援システムの検討や評価を行うための実験車両を製作した。フュージョンセンサは、ミリ波レーダをフロントグリルの内側に、ステレオカメラをルームミラーの後ろに配置している (図-16、図-17)。



図-16 ミリ波レーダ取付け部
Fig.16 Millimeter-wave radar attachment



図-17 画像認識センサ取付け部
Fig.17 Attachment of image recognition sensor

この実験車両では、フュージョンセンサの出力は車間制御 ECU に送信する。車間制御 ECU は、状況を判断し、スロットル、ブレーキを制御する。この構成により、実際のターゲットシステムを想定した、発進、追従、停止を行うことができる。

この車両を用いて、センサの性能評価のほか、システム動作時の乗り心地や使いやすさなどの評価も実施している。

9. まとめ

ミリ波レーダと画像認識センサを融合した『フュージョンセンサ』を開発した。このフュージョンセンサは、ミリ波レーダと画像認識技術を融合させることで前方の物体までの距離、相対速度、横位置を正確に捉え、渋滞走行支援システムに適したセンサとしている。また、画像認識センサにおいては、広角度の認識を少ない処理量で実現した。

今後は、本フュージョンセンサの実用化を推進するとともに、新しいセンシング技術の開発にも取り組み、様々な走行支援システムの実現に向けて、社会に貢献していきたい。

参考文献

- 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.Fujimura,M.Hitotsuya,S.Yamano,H.Higashida: 76GHz MILLIMETER-WAVE RADAR FOR ACC. Convergence*99, SAE Paper 99AE019
- 3) H.Higashida,R.Nakamura,M.Hitotsuya,K.F.Honda, N.Shima,: Fusion Sensor for Assist System for Low Speed in Traffic Congestion Using Millimeter-Wave Radar and an Image Recognition Sensor, SAE Paper 2001-01-0800

筆者紹介



島 伸和 （しま のぶかず）

1991年入社。以来、画像処理など車載信号処理機器の開発に従事。現在、開発統括部技術開発部在籍。



馬場崎 正博 （ばばさき まさひろ）

1990年入社。以来、騒音制御、画像処理機器の開発に従事。現在、開発統括部技術開発部在籍。



秋月 義樹 （あきづき よしき）

1986年入社。以来、内製ハイブリッドICの開発・設計、画像処理機器の開発に従事。現在、開発統括部技術開発部在籍。



本田 加奈子 （ほんだ かなこ）

1988年入社。以来、ミリ波レーダ、フュージョンセンサなど走行支援システム関連機器の開発に従事。現在、ITS事業推進本部技術部在籍。



樋口 崇 （ひぐち たかし）

1996年入社。以来、自動車用走行支援システムの開発に従事。現在、ITS事業推進本部技術部在籍。



東田 博文 （ひがしだ ひろふみ）

1984年入社。以来、車載制御機器およびミリ波レーダのソフト開発に従事。現在、ITS事業推進本部技術部プロジェクト課長。



中村 隆一 （なかむら りゅういち）

1980年入社。以来、自動車用電子制御機器、車載信号処理機器の開発に従事。現在、開発統括部技術開発部長代理。