

画像処理とファジィ理論による視覚制御システム

6E-4

鎌田 洋 直井 聡 後藤 敏行
(株) 富士通研究所

1. はじめに

近年、移動車の無人運転の研究が米国を中心に盛んに行われている。これは、移動車の知能化による省力効果を狙ったものであり、大きな産業的意義がある。このようなシステムの視覚部としては、TVカメラから入力される画像を実時間処理できる「FIVIS/VIP」(2)のような動画像処理プロセッサが最適である。制御部には、人間の曖昧な運転ノウハウを記述できるファジィ理論(1)が有用である。

筆者らは、動画像処理プロセッサとファジィ理論を組み合わせることにより、実用的な視覚制御システムを開発した。本システムによれば、一定間隔で並んだ路上の対象物を高速度で認識でき、しかもこれによって対象物体の列にそって移動車を無人運転できる。本稿では、このシステムを実現する上で生じた課題とそれを解決した技術について紹介する。

2. 対象物の実時間抽出方式

第1の課題は、太陽光の反射や泥などの多種類の雑音が混在する路上から、対象物だけを如何にして実時間で抽出するかである。解決のため、まず雑音を色依存型と大きさ依存型に分類した。色依存型では、白色が全ての色成分を含むことを考慮して、単なる注目色の強度ではなく、

$$\text{色比率} = \text{注目色の輝度} / \text{全体の輝度}$$

により雑音除去するようにした。大きさ依存型では、対象物の大きさを仮定し、それ以外の微小部分を除去するようにした。実際には、色抽出プロセッサと、局所並列処理アーキテクチャに基づく論理フィルタプロセッサを開発し、パイプライン接続することで実時間抽出を実現した。

3. 対象物体列の高速認識方式

第2の課題は、抽出した対象物体の画像から、その列を高速に認識することである。一般にはハフ変換がよく使用されるが、ハンドルを実時間で制御するには時間がかかり過ぎる。そこで、①②の手段により高速化した。

- ① 抽出された対象物の任意の(1点ではなく)2点を結ぶ直線を求め、平均化する。
- ② 2点 $(X1, Y1)$, $(X2, Y2)$ の組み合わせを、次の2式

で制限し、計算量を削減する。

$$|X1 - X2| \leq \text{一定値}, |Y1 - Y2| \geq \text{一定値}$$

さらに認識された物体列をどのように表現すれば、ハンドル量に結びつけられるかが問題である。我々は、人間が自動車を運転する時は物体列の位置と向きの2つの量を尺度にしていると仮定し、認識された物体列を①②の尺度で表現することにした(図1)。

- ① 位置: 画面の中心から、物体列に降ろした垂線の水平成分
 - ② 向き: 物体列が画面の中心線に対して成す角度
- ①で単に垂線の長さでなく、その水平成分としたのは、移動車の慣性を考慮したためである。

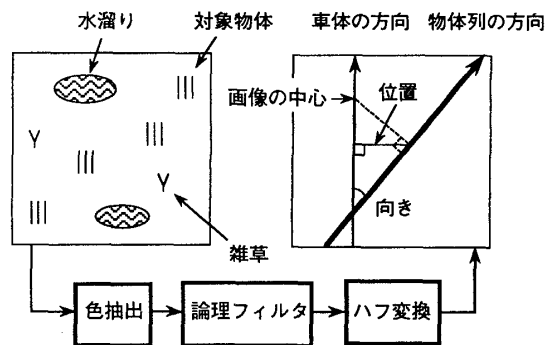


図1. 対象物体列の認識

4. ハンドル量の決定

第3の課題はハンドル量の決定であった。ハンドルの操作は人間の感覚的な運転ノウハウの集合であり、それをどのようにして物理的な操作量に置き換えるかである。

これを解決するため、人間の持つ運転ノウハウと対象物体列情報をファジィ理論により結合し、ハンドル量を決定した。具体的には、運転時における位置、向き、ハンドル量の”少し”などの5種類の感覚を山形のメンバシップ関数で表現し、人間の運転ノウハウをファジィルールとして表現した。ファジィルールは、表1の2種類のルールベースで構成した。位置の時間変化をファジィ推論の入力としたのは、車体の運動情報をハンドル量の決定に導入するためである。ハンドル量は、次のように決定した(図2)。

- ① ルール毎に、IF部の変数に物体列の情報を入力し信頼度を求め、THEN部のメンバシップ関数を台形状に制約する。
- ② 台形を全てのルールに関して重ね合わせ、その図形の重心をハンドル量とする。

表1. ファジールールの種類

IF部変数	THEN部変数	ルール数
位置, 位置の時間変化	ハンドル量	9
位置, 角度	ハンドル量	9

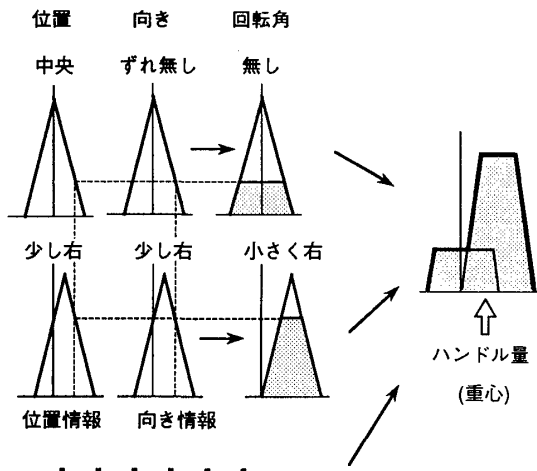


図2. ファジィ推論によるハンドル量の決定

5. 開発したシステム

開発した方式をもとに視覚制御システムを開発した。システムの構成を図3に示す。移動車に搭載するため、下記手段を講ずることにより、小型化を実現した。

- ① 色抽出部をアナログ回路で実現し、A/D変換回路を一箇所とした。
- ② 論理フィルタを専用LSI化した。
- ③ 専用の小型CPUボードを開発し、ハフ変換とファジィ推論をファームウェアとして実行するようにした。

この結果、画像処理ボードとCPUボードの2枚からなる約A4×10cmの超小型システムを開発できた(図4)。

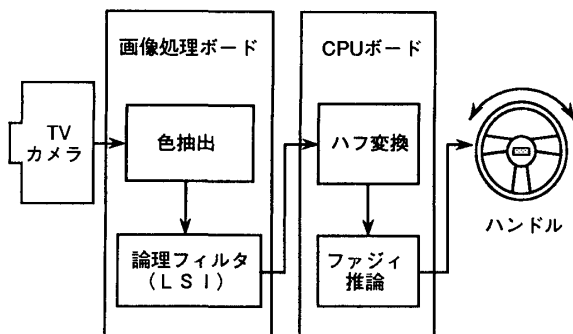


図3. システム構成

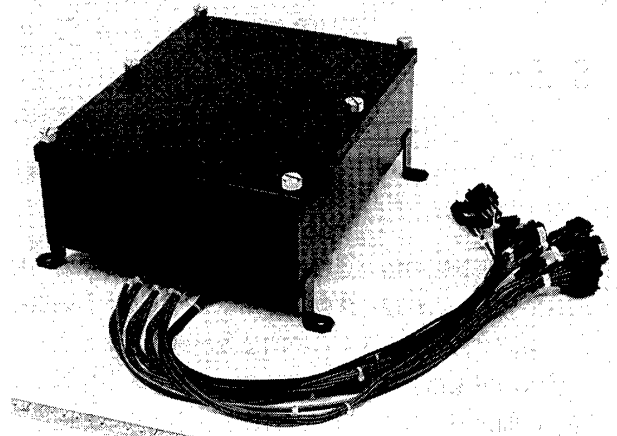


図4. 装置外観

6. 開発結果

開発した装置を移動車に搭載し、表2の条件で無人走行実験を行った。実用化を考えて、様々な条件を設定した。ホースだけでなく作物をも対象物としたのは、人工物のみならず自然物をも対象物として採用できることを確認するためである。

表2. 実験仕様

環境	屋外, 晴れ&曇り
路上	アスファルト, 泥土
対象物	ホース (緑色) 作物 (10cm高, 2cm直径, 20cm間隔)
物体列	直線, カーブ (3m半径)
車速	2.5km/秒

この結果、画像処理ボードでは16.7msで対象物体を抽出するが、画像入力からハンドル制御まで平均100msという高速処理が確認できた。また、対象物に沿って±5cmの精度で追従して無人走行できた。

7. まとめ

動画画像処理プロセッサとファジィ理論を組み合わせた移動車の視覚制御システムを開発した。専用画像処理LSIと専用CPUボードにより超小型化しており、画像を実時間で処理できるので非常に高速である。

実用化を想定した実験において非常に劣悪な環境を設定したにもかかわらず、実用的な性能を確認できた。本システムは、非常に広汎な産業応用に適用可能であると考えられる。

【参考文献】

- (1)L.A.Zadeh:Fuzzy Set. Information & Control, 8, pp. 338-358 (1965).
- (2)吉田他:カラー動画画像処理システム:FIVIS/VIP. FUJITSU 39, 4, pp.206-213 (1988).