

知的制御による自動車の省エネルギー運転

Ecological Car Driving by Intelligent Control

山口 伸平

安信 誠二

Shimpei YAMAGUCHI Seiji YASUNOBU

筑波大学 大学院 システム情報工学研究科

Graduate School of Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba

Abstract: In this paper, we put ecological driving knowledge of human in computer by developing intelligent controller. The intelligent controller consists of two parts, the judging situation part and the control part. The judging situation part judges situation from the velocity of the car, the gear number of the car, or target velocity. The judging part outputs a controller selection signal. The control part selects controller according to the signal, and selected controller outputs accelerator and brake. The judging situation part is built using fuzzy logic reasoning. The developed intelligent controller is simulated using MATLAB, and is compared with PID controller.

1 まえがき

現在、自動車業界において、省エネルギーで低排出な自動車が必要とされていて各メーカーで省エネルギー、低排出な自動車の開発が日々行なわれている。また、自動車の自動運転がさまざまな機関で研究されているが従来制御による速度制御での自動運転は人間の運転の特性と異なる。人間は自動車の速度やギア状態、また、今どういった目的の操作をするのかといった状況に応じて適切な制御を行っている。従来制御による運転はこれらの知識が組み込まれておらず単に目標速度への追従を目的としており、人間の運転よりエネルギー消費が多くなってしまっているのが現状である。

そこで本研究では、人間が省エネルギーに自動車を走行させるときの運転知識をコンピュータに組み込むことで省エネルギーな運転をする自動運転を構築することを目的とする。また、本研究では自動運転が実用される自動車の試験走行の場面に着目し、試験走行において、人間が行っている省エネルギーを指向した運転方法をコンピュータに組み込み自動運転を構築する。

実際の自動運転システムを構築する前段階として MATLAB (Math Works 社) 上の自動車のモデルを用い、構築した制御器の有効性をシミュレーションにより評価した。

2 10モード燃費

構築する自動運転の有効性を評価するために、10モード燃費測定法 [1] を用いる。10モード燃費測定とは燃費測定のひとつで、10種の走行モードを行うことによって燃費を測定する。定地走行燃費に比べ実際の燃費に近く、現在多くの自動車のカタロ

グにのる燃料消費率の数値はこの走行モードによるものである。現在、この10モード燃費走行による燃費の測定や排出ガスの測定を行う際、自動車の運転は専門のプロのドライバーによって行われている。本研究で構築する自動運転はこの試験走行への適応を想定している。

以下は10モード走行の定義である。10種の走行モードとは以下の走行である。

1. エンジンを始動したあともまず20秒間アイドリング
2. スタートして7秒間で20 km/hまで加速
3. そのまま15秒間定速で走る
4. その後7秒間で完全停止状態まで
5. アイドリングで16秒間
6. またスタートして14秒間で40 km/hまで加速
7. 同じ速度のまま15秒間走行
8. それから10秒間で20 km/hまで減速
9. 2秒間時速確認してから12秒間で40 km/hまで加速
10. すぐ17秒間で完全停止まで減速する

この10種の走行モードで想定している速度パターンを図1に示す。

運転する場合における速度および時間の許容誤差は、あらゆる場合において、速度は ± 2 km/h以内、時間は ± 1 秒以内とされている(図2) [1]。

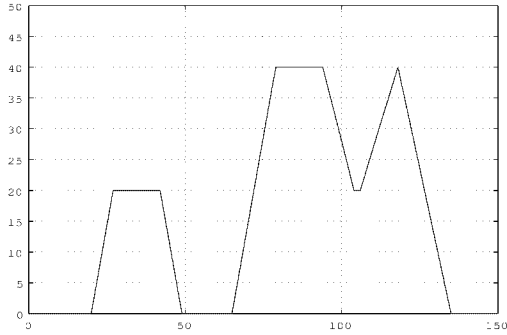


図 1: 10モード燃費の速度パターン

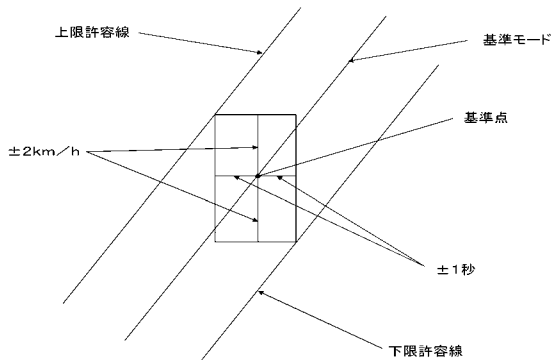


図 2: 10モード燃費の時間と速度の許容範囲

3 人間の運転知識

人間は自動車の現在の状況を判断し、その状況にあった制御方法を選択し、自動車を操作している。同じ時間に一定のスピードに到達する際にもなるべく省エネルギーとなるように考え操作を行っている。

10モードパターン走行時に人間が行っている判断-操作を以下のような知識としてまとめた。本研究ではオートマチックトランスミッション車を対象とし、人間はブレーキとアクセルの操作を行っている。

- DC1 停止させるとき、
ブレーキ一定踏力で踏む。
- DC2 加速しなければならない、かつギアがローである時、
アクセルのみ操作、アクセル強めに踏む。
- DC3 加速しなければならない、かつギアがセカンドである時、
アクセルのみ操作、アクセル弱めに踏む。
- DC4 一定速度で走行する時、
アクセルのみ操作、アクセル開度一定となるようにあまりアクセル動かさない。
- DC5 減速しなければならない、かつ現在の速度が高速である時、
ブレーキのみ操作、できるだけ惰性走行を行う。

DC6 減速しなければならない、かつ現在の速度が中速である時、
ブレーキのみ操作、停止できる十分な減速度を保つ。

DC7 減速しなければならない、かつ現在の速度が低速である時、
ブレーキのみ操作、停止するブレーキ踏力を加える。

4 知的制御系

4.1 システム構成

構築する知的制御系のシステム構成を図3に示す。人間は状況に応じて、その状況に適した制御器を切り替えていると考え、知的制御系は状況判断部と制御部の二つから成る構成とした。どのような制御を行えばよいのかの判断を知的制御系の状況判断部が行う。制御部は規範となる速度パターンと自動車の現在速度との誤差によって自動車に入力するアクセル開度とブレーキ踏力を決定する。状況判断部は規範となる速度、加速度パターンと自動車のギア状態、速度によって状況を判断し、制御部に制御器選択指令を入力する。制御部には数種類の特性を持つ制御器が準備されていて状況判断部からの制御器選択信号によって制御器を切り替える。状況判断部は状態評価ファジィ推論を用いている。

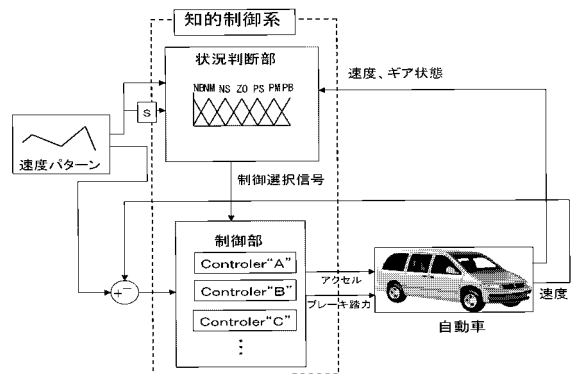


図 3: システム構成

4.2 状況判断部

状況判断部は規範の速度、加速度パターンと、自動車の速度、ギア状態の4つの情報を元に状況判断し、その状況にあった制御器を選択し制御部に制御器選択信号を渡す。今回、自動車の状況は以上に記したように7つに分けている。状況判断部は7つの状況を状態評価ファジィ推論によって判断する。

速度パターンを V_r 、加速度パターンを a_r 、自動車の速度を v 、ギア状態 g とし、以下のように状況を判断する if-then ルールを設定した。

d1 停止 :

If V_r is zero,
then controller is "A".

d2 ローギアで加速 :

If V_r is NOT zero, and a_r is positive, and g is 1st,
then controller is "B".

d3 セカンドで加速 :

If V_r is NOT zero, and a_r is positive, and g is 2nd,
then controller is "C".

d4 一定走行 :

If V_r is NOT zero, and a_r is zero,
then controller is "D".

d5 高速かつ減速 :

If V_r is NOT zero, and a_r is negative, and v is high,
then controller is "E".

d6 中速かつ減速 :

If V_r is NOT zero, and a_r is negative, and v is middle,
then controller is "F".

d7 低速かつ減速 :

If V_r is NOT zero, and a_r is negative, and v is low,
then controller is "G".

以上の状況を状況判断部は判断して制御器選択信号を制御部に出力する。 V_r 、 a_r 、 g 、 v の状態は人間の概念に基づきメンバシップ関数を設定し、ファジイ推論により制御選択信号を算出する。ファジイメンバシップ関数は図4のように設定した。

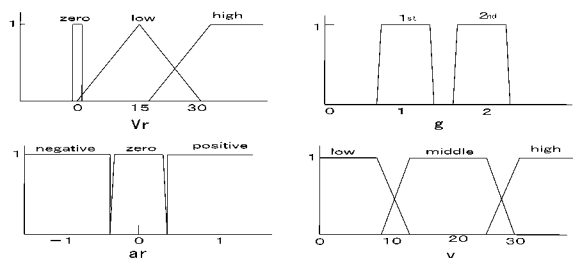


図 4: メンバシップ関数

4.3 制御部

制御部は特性の異なる制御器を持っている。状況判断部が出力した制御器選択信号により制御器を切り替え、その状況に適した制御を行う。それぞれの制御器は速度誤差、加速度誤差を入力とし、アクセル開度、ブレーキ踏力を求め出力する。アクセル開度、ブレーキ踏力を求める式は以下になる。

$$y_a = k_{pa} * e + k_{da} * \dot{e} + C_a \quad (1)$$

$$y_b = k_{pb} * e + k_{db} * \dot{e} + C_b \quad (2)$$

ここで

y_a :アクセル開度

y_b :ブレーキ踏力

e :速度誤差

C_a, C_b :定数項

$k_{pa}, k_{da}, k_{pb}, k_{db}$:比例項、微分項に対するゲイン

C_a, C_b と $k_{pa}, k_{da}, k_{pb}, k_{db}$ によってそれぞれの制御器の特性が決定される。それぞれの制御器の特性を以下に述べる。

controller "A"

アクセルは常に 0、ブレーキ踏力一定

controller "B"

ブレーキ常に 0、アクセルを強めに踏む

controller "C"

ブレーキ常に 0、アクセルの踏み替えが少ない

controller "D"

一定速度走行のときアクセル一定になりやすい

controller "E"

アクセル常に 0、ブレーキ弱め、惰性走行をしやすい

controller "F"

アクセル常に 0、目標の減速度にあったブレーキ

controller "G"

アクセル常に 0、ブレーキを強めに踏む

5 シミュレーション

制御器の有効性を MATLAB をもちいシミュレーションにより評価する。

制御対象として MATLAB に標準で提供されている自動車モデル sf_car を用いた [2]。このモデルはオートマチックトランスミッション車であり入力にはアクセル開度とブレーキ踏力である。

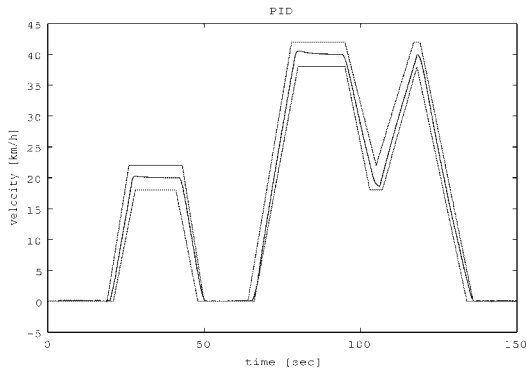


図 5: PID 制御による速度制御

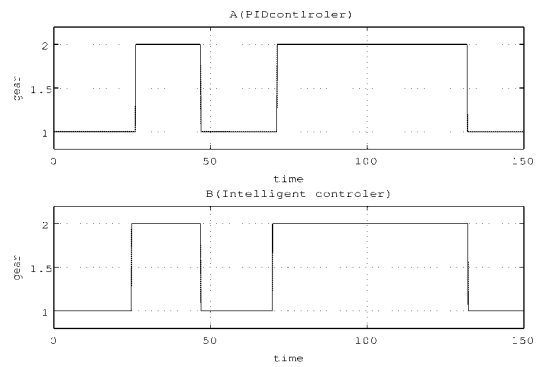


図 7: ギアの時間推移、A (PID) B (知的制御)

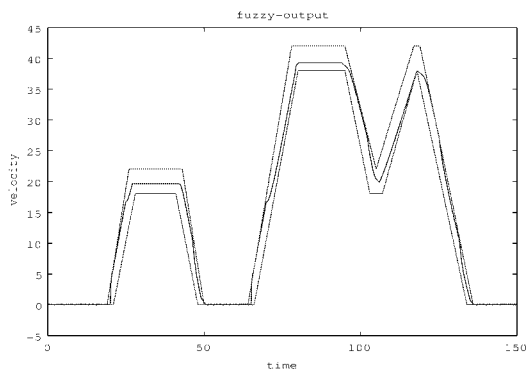


図 6: 知的制御による速度制御

6 まとめ

本研究では、人間が自動車を運転する際に行っている判断 - 操作の運転知識を知的制御系に組み込んだ。また、提案した知的制御系を MATLAB 上の自動車モデルを用いてシミュレーションし、PID 制御よりも省エネルギーを指向した運転であることを確認した。

参考文献

- [1] 国土交通省自動車交通局技術安全部、独立法人 交通安全環境研究所監修, 「新型自動車審査関係基準集」, 光文社, 2001.
- [2] 「Simulink/stateflow サンプルモデル 解説書」, CIBERNET SYSTEMS CO,LTD2003.
- [3] ECCJ, 財団法人省エネルギーセンターホームページ「Let's スマートドライブ」, <http://www.eccj.or.jp/drive/03/index.html>
- [4] 安信誠二, 「ファジイ工学」, 昭晃堂, 1991.

連絡先

〒 305-8573
 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
 知能機能システム専攻 知的制御システム研究室
 山口 伸平
 電話: 029-853-6186
 E-mail: yamagu20@edu.esys.tsukuba.ac.jp

5.1 シミュレーション

PID 制御による自動運転と、知的制御系による自動運転をシミュレーションした。どちらの制御も規範入力として 10 モード走行時の速度パターンを用いる (図 1)。PID 制御による結果を図 5 に示す。知的制御系による結果を図 6 に示す。

5.2 考察

PID 制御と知的制御系による自動運転を行ったときの結果は、共に 10 モード燃費の速度パターンの ± 2 km/h、 ± 1 sec 以内で走行しており、基準をクリアしている (図 5 図 6)。図 6 より、知的制御系による運転では 40 km/h から減速する際、9.5 秒付近、11.9 秒付近で惰性走行を行っていることがわかる。図 7 に PID 制御、知的制御による運転時のギアの推移を示す。PID 制御では加速時に 26 秒、71.1 秒で 2nd ギアに推移しているが、知的制御系では 24.7 秒、69.8 秒で 2nd ギアに推移している。つまり、知的制御系においては、高いギア比で走行している時間が長い。

以上のことから PID 制御に比べ、提案した知的制御のほうが省エネルギーを指向した運転を実現できている。