

人間の操舵を考慮した自動車の インテリジェントステアリングコントロール

Intelligent Steering Control for Vehicles Considering Driver's Steer

研究代表者 慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科・助教・高橋正樹

Department of System Design Engineering, Faculty of Science and Technology,
Keio University

Assistant Professor, Masaki Takahashi

本研究は、安全性の向上を目的として、人間の操舵を考慮する評価機構を有する多次元型情報処理機構によるインテリジェントステアリングコントロールを提案する。自動車の運動は自動車単体での運動としてではなく、環境ードライバー自動車系の多重ループとして捉え、人間であるドライバを考慮した制御系設計を行う必要があるが、ドライバの特性や構造を定量的にモデル化することは困難である。そこで、提案する制御系ではドライバの意思・判断を翻訳する機能を導入し、その評価に基づき人間の操舵操作に反することがない操縦支援を行うことにより安全性向上を図る。また、高い制御性能を有する定量的な制御のみではなく、非線形性や不確定性をある程度許容するソフトコンピューティング手法を用いたあいまいな情報による制御を導入し、それらを併用することで、何らかの原因で安定性を確保する制御系設計の前提条件が崩れた場合にも対応可能な制御系を実現する。

Abstract- The control law of car motion control needs to be adaptable to the nonlinearity of car dynamics due to the characteristics of tire-road force and uncertainty of driver's behavior. The previous nonlinear control theory and human performance analysis have not provided effective solution for such problems because it is not easy to model driver's behavior and characteristics quantitatively. From the previous background, this study aims at establishing an intelligent steering control for vehicles considering drivers steering in order to improve active safety technology of cars. The proposed control system consists of multilevel parallel processing on different degree of abstraction, such as a quantitative controller based on the linear control theory and a qualitative controller, and mechanism for evaluating drivers steering. If the presupposition in the modeling is broken by some failure, the controller can be expected to cope with the abnormal situations. In order to verify the effectiveness of the proposed control system, the numerical simulations are carried out.

1. 研究目的

現行の自動車の運動制御は、車両の挙動を状態量のみから推定しており、制御設計者の意図と異なった操作をドライバが行った場合は一方的に介入する。しかし、これではドライバの意志・判断よりも状態量が優先され、ともすれば制御とドライバ意図の間に不整合が生じる。こうした不整合はドライバへの不快感から大事故発生要因まであらゆる危険性をはらんでいる。マンマシン系における人間と機械の不整合という問題を解決するためには、両者のコミュニケーションを可能とすることが不可欠である。本研究は、環境—ドライバー自動車系による自動車の運動制御問題を考え、安全性の向上を目的として、人間の操舵を考慮する評価機構を有するインテリジェントステアリングコントロールについて検討する。具体的には、人間の適切な操舵操作に反することなく、スピンなど危険な状態に陥るのを防ぐ前輪操舵制御器構築を目的とする。

2. 研究経過

人間の操舵を考慮する評価機構を有するインテリジェントステアリングコントロールのアーキテクチャと設計法を確立すると共に、理論解析・数値解析により、その有為性を明らかにした。各項目について示す。

2.1 インテリジェントステアリングコントロールのアーキテクチャ設計

提案する制御系を図1に示す。制御系では、制御ループの中にドライバの意思・判断を含めた制御状態を陽に評価する機構を導入して、その評価情報に基づいて積極的に安全性を確保する。具体的には、ドライバモデル、前輪操舵制御器、評価器から構成される。前輪操舵制御器は、非線形領域、危険領域それぞれ

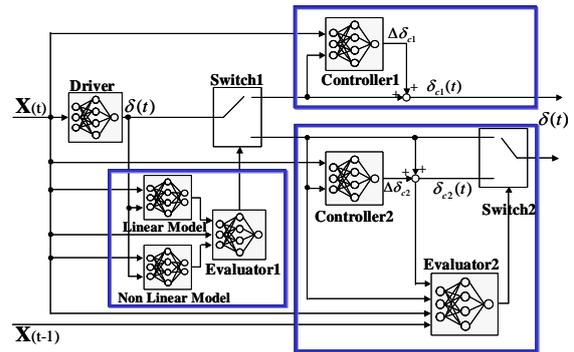


図1 インテリジェントステアリングコントロール

に対応し、評価器1は現在の車両の状態がどちらの領域にあるかを判断し、2つの制御器の切替えを行う。また、一般ドライバの場合、両領域において制御介入を必要とするが、熟練ドライバは危険領域において自らカウンタステアをあてることが可能であるため制御介入は逆に不快感を与える可能性がある。そこで、ドライバが適切な操舵操作を行っているかを評価し、制御介入を判断するのが評価器2である。本制御系において、評価器1を状態評価器、評価器2を操舵評価器と呼ぶ。

2.2 インテリジェントステアリングコントロールの設計法

提案する制御系は、まず前輪操舵制御器、次にこれを用いて操舵評価器を獲得し、最後にすべてを統合した状態で状態評価器を構築する。具体的には、初めに、人間の操舵操作を模擬するドライバモデルを構築した。さらに、車両動特性の非線形性を補償し、より線形に近い特性を実現することにより、スピン等を回避でき、安全な走行を可能とする前輪操舵制御器を構築した。また、ドライバによるスピンの破滅行動を回避するための操舵操作を考慮する操舵評価器を構築した。ここでは特に操舵評価器の設計法について示す。

前述のように操舵評価器は、危険領域においてドライバーが適切な操舵操作を行ったかどうかを判断し、適切であれば制御介入を行わないように切替えを行う。本評価器はニューラルネットワーク(以下 NN)を用いて構築する。ドライバーの操舵操作を評価するための入力情報として、車両挙動の指針となる横滑り角とヨーレートおよびそれぞれの変化量、その時のドライバーの操舵角およびそれに対する操舵補正後の舵角、さらに目標コースの情報として車両の車線上の左右位置、コースの方向と曲率を採用した。この目標コースの情報はドライバーモデル構築の際に視覚情報として用いた情報と同じである。NN の出力はドライバー操舵の評価値とし、NN の重みは複数の走行条件を設定し、遺伝的アルゴリズムにより獲得した。

2.3 インテリジェントステアリングコントロールの計算機シミュレーションによる検証

構築した前輪操舵制御器および各評価器を統合し、インテリジェントステアリングコントローラとして、各種条件で数値走行シミュレーションを行い、その制御性能を検証した。一般、熟練ドライバーの走行軌跡の一例を示す。図 2 は走行軌跡、図 3 は横滑り角とヨーレートの関係、図 4、5 は一般、熟練ドライバーの操舵角と各評価器による切替えの履歴を示す。操舵評価器(EV2)の切替えの結果では、0 は制御解除、1 は制御器 1、2 は制御器 2 による制御介入を示す。本走行条件では、一般ドライバーが単独で走行するとスピン状態に陥るため制御介入が必要である。一般ドライバーでは、適切な状態量において制御器の切替えをすると同時に、その時のドライバー操舵ではスピンを回避できないと判断し、制御介入を行っている。一方、熟練ドライバーでは、適切に現在の制御領域を判断し、さらにドライバー操舵が有効であるかどうか

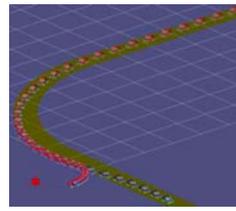


図 2 走行条件

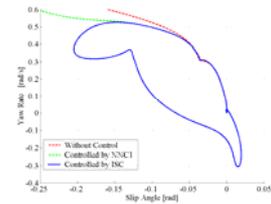
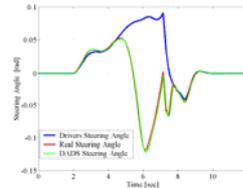
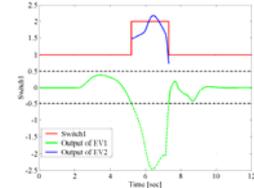


図 3 状態量

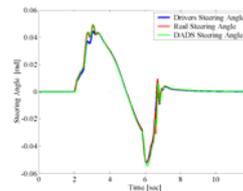


(a)操舵角履歴

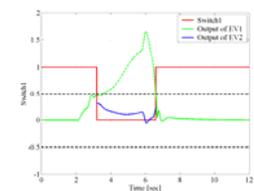


(b)切替え履歴

図 4 走行シミュレーション結果(一般ドライバー)



(a)操舵角履歴



(b)切替え履歴

図 5 走行シミュレーション結果(熟練ドライバー)

を評価し、制御を解除していることが確認できる。以上の結果より、同評価器を用いて、異なる人間の操舵特性を考慮し、所望の制御性能が得られていることが分かる。

2.4 実験装置の開発

提案手法の検証や問題点の早期発見には実験装置が必要不可欠であることから、数値解析と並行して実験装置の整備を行った。今後、4 輪型移動車両ロボットには CPU ボード、I/O ボード、センサボード、モータ制御ボード、赤外線リモートコントローラ、2 次元 CCD カメラ、画像用 BS トランスミッタ、データ通信用無線 LAN、電源用バッテリーなどを搭載する予定である。画像 BS トランスミッタにより近くに設置



図 6 ドライビングシミュレータ 図 7 実験装置

してあるスクリーンに送信された画像を見ながらドライバが運転するような形で実験を行うシステムを構築し、被験者実験により、提案手法の有効性を検証する。

3. 研究成果

本研究の手法は、付加的に外のループで車両の挙動に対して異常検知や診断を行い、何らかの異常が推論された結果、制御に割り込む形をとっていた既存の制御系設計とは異なり、その制御ループの中にドライバの意思・判断を含めた制御状態を陽に評価して積極的に安全性を確保する手法である。

複数のドライバモデルを構築し、各種条件で数値走行シミュレーションを行い、ドライバ操舵の意図・判断に対する評価情報と車両の状態に応じて適切な制御器に切り替えることにより、制御レベルの異なる操縦支援が危険状態の回避に対して有効であることを確認した。

4. 今後の課題と発展

申請課題では、安全性の向上を目的として、人間の操舵を考慮する評価機構を有するインテリジェントステアリングコントロールを提案することを目的とした。平成 18 年度は数値シミュレーションによる設計や検証を主体としたが、単に計算機によるシミュレーションスタディだけでなく、今後は製作した実験装置を適宜改良

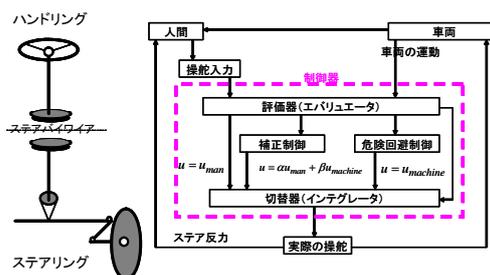


図 8 人間・機械系の知的制御系の構造

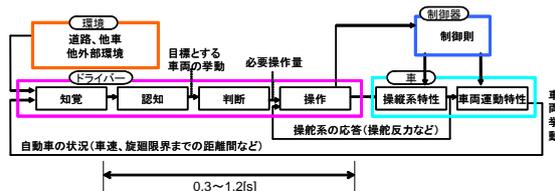


図 9 人間の認知から操作までの遅れを考慮した制御

し、確立した制御手法の有効性を実験を通して実証する。また、実験を通して得られた知見をフィードバックし、提案手法の更なる改善を図る。

今後は、人間の認知に着目し、異なる時間スケールの認知と評価を導入した人間・機械系の知的制御系へと拡張する。これらの関係に着目した制御手法の一例として、人間の認知から操作までにかかる時間遅れを利用して、その間に積極的に制御を介入させることによって、制御の介入が人間に与える違和感の軽減を図る。また、人間の操舵と制御による入力を周波数領域で分離することにより、人間の意図と車両の状態を評価し、制御の介入するレベルを変えることによって、状況と人間の判断に応じた人間と自動車の制御が干渉せずに協調できる手法へと拡張し、「人間にとって自分が運転しているように感じる」、「人間に認知エラーを起こさせないこと」、「ドライバが制御を過信しないようにすること」を重視した協調制御系を実現する。