

人間と自動車系の運転行動推定による アクティブステアリング制御に関する研究

手塚 繁 樹*

A Study on Active Steering Control with Driving Behavior Inference in Human-Vehicle Systems

by Shigeki TEZUKA

近年、自動車の操縦安定性及び安全性の向上を図るため、ドライバを中心とした車両単体の走行性能の向上や運転支援システムの開発が行われている。しかし、実際には、ドライバの特性が一人ひとり大きく異なるため、ドライバの特性の平均値で車両を設計し、個々人の差異はドライバの適応性に依存した車両システムとなっている。そのため、このような車両システムはドライバにとって齟齬や違和感、煩わしさなどを感じてしまうことが少なくない。また逆に、車両システムにドライバが頼りきってしまうこともある。

真のドライバを中心とした車両システムとなるためには、ドライバの意思を推定し、ドライバが求めている特性の車両性能を提供するような人間と自動車系の協調が必要となる。しかし、現在の車両システムがこの段階まで到達するには大幅な技術革新が必要となる。その大きな原因の一つは、ドライバの運転行動を推定する手法が確立していないからである。また、運転行動を推定した後の人間と自動車系の協調制御の手法も確立されていない。

そこで、本研究では、自動車の操縦安定性及び安全性を大幅に向上するために、ドライバの運転行動を推定する手法と運転行動推定結果を基にした人間

- 自動車系の協調制御の手法を確立することを目的とし、アクティブステアリングを題材にそれら手法の有用性を検証する。

まず、ドライバのステアリング操舵角度データを時系列で捉え、そして車線変更時におけるドライバの運転行動を推定する手法を提案する。この提案手法では、ベイジアンネットワークの中でもスタティック型条件付ガウシアンモデルを利用し、ドライバの運転行動階層モデルの一部と運転行動の文脈依存性を表現した運転行動推定モデルの構築を行った。そして、この運転行動推定モデルを用いて車線変更時の運転行動（車線維持、通常車線変更、緊急回避行動）の連続推定を行う。この手法を用いると被験者の運転行動と学習データとのノルムが一定値以下の時、ほぼ100%の確率で行動を連続認識することができる。また、この手法を用いることにより、従来の隠れマルコフモデルを用いた運転行動推定モデルに比べて誤推定が含まれる確率が低下する知見を得た。

次に、ドライバの緊急回避行動を推定し、ドライバが求める特性の制御に切り替える人間と自動車系の協調制御の一つである運転行動推定型ハイブリッド制御システムを提案する。一般にドライバは、通

*新潟大学大学院自然科学研究科大学院生

現在 新潟工業短期大学

〔新潟大学博士（工学）平成20年3月24日授与〕

常運転時にはヨーレートを重視し、緊急回避時には横加速度を重視している。これらのドライバの特性を電氣的リンクによって操舵を行う (Steer-By-Wire) アクティブステアリングによって補償するシステムがこれまでに提案されている。しかし、ドライバの緊急回避行動を推定する手法が確立されていないため、一人ひとりのドライバにとって適切に制御を切り替えることができなかった。そこで、先の研究成果であるベイジアンネットワークを用いた運転行動推定モデルを用いてドライバの緊急回避行動を推定し、ヨーレート重視から横加速度重視の制御に切り替える運転行動推定型ハイブリッド制御システムとする。制御には、緊急回避行動時にタイヤが入る非線形領域でも高いロバスト性が期待されるモデル規範型非線形適応制御を用いた。一次予測ドライバモデルを用いて、提案システムのクローズドループな評価シミュレーションを行った。その結果、このシステムは緊急回避時に制御を行わなかった場合に比べて約3.8倍の横方向移動量が改善され、障害物を安全に速く回避できる知見を得た。また、自動車の操縦安定性も大幅に改善される効果も確認された。

ドライバの運転行動推定の結果を利用した制御の場合、最も懸念されることとしては、システムが誤推定を行った場合とドライバの意思が途中で変わった場合などにおけるシステムの安全性の問題が挙げられる。そこで本研究では、線形規範モデルに代えて非線形規範モデルを用いることによりシステムのフェールセーフが確保されることが確認された。

これらの成果から本研究は、高いレベルでの人間と自動車系の協調制御の実現に向けた方向性を示せたものと確信している。また、これらの成果を各種運転支援システムへ適用し、より高度な情報支援や操縦支援に発展するものと考えている

本論文は、6章から構成されており、各章の構成と概要は次のとおりである。

第1章では、既述のとおり、本論文の目的、問題の所在と研究方針、従来の研究および本論文の構成などについて述べている。

第2章では、アクティブステアリングにおける人間と自動車系の協調制御を実現するためのドライバ運

転行動推定モデルの構築手法と協調制御手法について述べる。ドライバの運転行動推定手法として、現在、最も有力視されているベイジアンネットワークでの確率推論の方法についても述べる。また、車両がドライバの意思に適応するための人間と自動車系の協調制御の手法として、運転行動推定とモデル規範型適応制御の関係について述べる。

第3章では、ベイジアンネットワークを用いて人間行動の持つ文脈性や心理機能の階層性を表現した運転行動推定モデルの提案を行う。また、提案された運転行動推定モデルを用いた運転行動推定の妥当性評価を、ドライビングシミュレータを用いて行う。また、従来の隠れマルコフモデルを用いた運転行動推定モデルとの比較を行い、その推定率向上について述べる。

第4章では、第3章で提案した運転行動推定モデルを用いて、アクティブステアリングにおける具体的な人間と自動車系の協調制御について述べる。具体的な協調制御の方法として、運転行動推定モデルを用いてドライバの緊急回避行動を推定し、緊急回避時にドライバが求める車両特性に適応するためにヨーレート追従制御から横加速度追従制御に切り替える運転行動推定型ハイブリッド型制御を提案する。また、この協調制御の有用性を1次予測による前方誤差補正ドライバモデルを用いたクローズドループの緊急回避シミュレーションを行い述べる。

第5章では、第4章で提案した運転行動推定を用いた制御の問題点である不確実性への対応について述べる。具体的には、非線形規範モデルの適用効果について代表的な場合を想定してシミュレーションを行い検証する。

第6章では、本研究の結言として次の項目についてまとめる。

- (1) アクティブステアリングにおける人間と自動車系の協調手法
- (2) 提案した運転行動推定モデルの妥当性
- (3) 提案した運転行動推定型ハイブリッド制御の有用性
- (4) 非線形規範モデルの不確実性への対応効果
- (5) 本研究の発展性