

自動車運転習熟過程の陽的パラメータモデルの構築

Driving skill proficiency process modeling with explicit parameters

主任研究員名：梅井 一英

分担研究員名：大野 麻子

成果報告

自動車の運転（操縦）とはある位置からある位置まで車両を移動させることであり、経路と速度の制約がある。人間は 130 年前に自動車が発明されてから自動車の運転をしているが、生まれながらに運転プログラムが組み込まれているわけではない。一方、公道を走ることができる自動車の自動運転技術の開発が急速に進んでいる。これは深層学習を用いた環境認識技術の発展と運転人間の操作からアクセル・ブレーキや操舵機構の駆動までが電氣的につながった XBW(X by wire)システムの市販車への適用が進んでいることによる。一方鉄道では 1981 年より完全自動運転が実用化されている。目標軌跡がレールとして固定されている鉄道に対して自動車ではそれを生成しなければならない。目標とする経路および速度の制約が決まれば、ハンドルとアクセル・ブレーキの操作はあらかじめプログラムが書き込まれた制御装置によりなされる。自動運転車両には周囲環境をから現在位置と道路の形状を取り出し目標に追従するようハンドルなどの操作装置を動かすプログラムが組み込まれている。そして人間はどのようにして運転ができるようになるのか。

目標、周囲環境から操作を決めるという入力と出力は人間も制御装置も同じである。人間の能力、主には応答性、でどのような操作が可能なのか制御系の中での人間挙動の安定性解析から調べた。運転操作の遅れについて文献に見られる値やシャーシダイナモ上で目標速度追従試験をした結果から 0.5 秒程度として、それによりフィードバック補正がどの程度可能かをフィードバック制御系の安定性解析から求めた。それにより速度追従はフィードフォワード操作が不可欠であり、フィードフォワード操作のためにはその操作量を決定する学習が必要となる。

人間の運転では環境からまず目標軌道を生成し、それに対して自身が制御装置として自動車を操作する必要がある。しかし人間の脳内にはプログラムが書き込まれていないので、そのプログラムを生成する必要がある。人間の赤ちゃんは、身体的な可能性と制約があるもののほとんどプログラムがない状態で生まれる。そして周りの状態を見ていろんな人間らしい行動や操作(道具の使用)ができるようになる。運転操作の学習も同様であり、目標とする動きを認識し、そして操作した結果と目標との違いを判断する、それにより操作行動を修正すると考え、それに適用できる制御理論上のアルゴリズムとして繰り返し学習制御を検討した。

繰り返し学習制御を目標速度追従のためのアクセル・ブレーキ操作に適用すると時系列の操作量が獲得できる。しかし1秒ごとの値を十数分間記憶することは人間には適していない。目標の特徴に対応した操作パターンのパラメータを学習する方法が人間にとって適していると言える。そのパターン学習も繰り返し学習制御と同様にアルゴリズムとして構成した。排ガス試験サイクルの目標速度追従運転の運転者モデルにこの学習を適用し、操作の知見がない状態から繰り返し運転で目標速度に追従できることを計算機シミュレーションにより示した。

人間が曲がりくねった経路をたどる時走ると4輪車の運転とでは身体の動かし方が全く異なるが、そのことは意識されない。身体のみで移動するには生まれつき備わった運動能力があるが、運転では道具の操作やさらにはその延長である機械を操作する。これが無意識に行われるには道具を身体の一部として制御系の中に取り込み、それらの応答込みで脳内に逆システムが形成されていると考えられる。これを拡張的身体の形成と呼ぶことにした。人間行動は慣れるに従い基づくものが知識(Knowledge)、規則(Rule)そして習熟技能 (Skill)となるというSRKモデルの概念につながるものである。

運転操作装置は道具であり、それは拡張的身体の制御ループの中に組み込まれ、それに対するゲインも制御装置(脳)の中に獲得されている。この制御ループの中には情報収集のためのインタフェースも含まれる。視覚インタフェースとしての近視メガネはゲイン1(なんら影響を及ぼさない)の要素と考えていいが、裸眼の像と比べて大きさが小さくなりまた鮮明さが増す(あいまい誤差が減少)。ゲインは脳の中で切り替えられている。人間の姿勢が変われば対象物の向きや大きさは視野の中で変わる。手足の操作系での適応では身体的能力の制約から視覚と全く同じではない。手足を使った位置決め精度は操作の方向と力に依存する。

さらに身体的な特徴のみならず、覚醒度などの状態や人間行動を理解することも必要となる。目標軌道が運転者の現在の状態や技量に応じて調整可能であれば運転者にとってより負担が少ない。例えば、集中度の低下した運転者や技量の低い運転者に対し操作量の判断が難しい目標経路を提示することで、目標追従のために高い周波数の操作が必要となったり、車線の維持が一時的に困難になることも考えられる。そして運転者の行動パターンの分析においては、例えば曲がる操作を行う際に冗長な経路をとり大回りすることが運転者にとって最も負担が少なく成功しやすい曲がり方であれば、最短経路で曲がるような目標経路の提示はこのような運転者にとっては最適ではないかもしれない。

曲がりくねった道路を走行することを考える。そこを走り抜けるハンドル操作目標はある範囲で決まるが、走行速度が上がるに従い、その周波数は速度に比例して上がる。そしてこの周波数上昇に伴い間違いの修正を含む冗長な操作が許容できなくなる。さらに位相のずれ(タイミングのずれ)の許容範囲がほとんどなくなる。大縄跳びで縄の下に入るタイミングの許容範囲と同様である。ある目的に対する操作(体の動き)の系列を広い意味で技能と呼ぶことにする。この技能は人により異なり、上手かあまり上手くないという技能水準がある。習熟した技能の特徴の一つに操作の繰り返し正確さが挙げられる。また認識系と操作系で無駄の

ない動きも必要で、これはエネルギーが最小となるとともに応答性が上がることにも繋がる。習熟により人間の応答性が大幅に改善されることはないので、目標軌跡列のカットオフ周波数を下げることは非常に効果的である。滑らかな目標軌跡を生成し追従を容易することも習熟の大きな要素である。

研究発表

- [1] Kazuhide Togai, Asako Ohno, Hisashi Tamaki, Driving Skill Learning Process Model and Application to Raising Skill Level, The 14th International Symposium on Advanced Vehicle Control, AVEC'18,2018.
- [2] 梶井 一英, 大野 麻子, 運転習熟過程のモデル構築とその自律運転への適用, 『車載 HMI の開発動向と自動運転, ADAS への応用』第 8 章「ドライバの運転行動, 運転意図の評価とモデル構築」第 1 節, 技術情報協会, 2019.

車両制御装置としての人間の運転技能

梶井 一英（工学部交通機械工学科）

成果報告

自動車の運転とは車両の位置、経路と速度を目標として、駆動と制動装置（アクセル・ブレーキ）と操舵装置（ハンドル）を操作することである。この操作を人が行っても自動運転装置が行っても、同じ操作量に対して車両の運動は同じになる。そこで人間の運転技能を操作量系列の計画、その操作量系列の実現（正確さと応答性）という制御理論の面から評価すると技能習熟過程が見えてくる。

運転者がフィードバックによる目標追従をうまくできない理由は電子制御機器に比べて応答性がかなり遅いためである。これはフィードバック経路に無駄時間をもつ簡単なモデルを用いた安定性解析から示すことができる。人間の運転では排ガス試験サイクル目標車速にフィードバックのみでは追従できない。目標追従にはフィードバックだけでなくフィードフォワードが必須であり、このフィードフォワードによる操作量系列は繰り返しの学習により獲得される。操作量学習モデルに繰り返し学習制御の理論を適用して、車両の目標軌道（例えば速度）に対する時系列の操作量が獲得できることを示した。しかし、人間には刻々の操作量を記憶することが困難であり、目標軌道に対して操作パターンのパラメータを学習すると考える方が自然である。

一旦操作系列が学習によって獲得されると目標に対する操作は技能水準が上がるに従い無意識のうちになされる。道具が、例えば箸や撥、指や手の拡張として使われることがあるが、こうした時には元の身体とこうした道具を含む拡張的身体の違いについて意識されることがない。自動車の運転席にいったん座ると運転者は目的地にあたかも自分自身の足を使って移動するように感じている。

課題の難易度水準が低い間は広い範囲の操作系列が適用できる。時間平均で目標となるPWM形式の操作（アクセル全開と全閉を交互に踏むような）もその一つである。実現課題の要求水準が高くなると許容される操作列は少なくなりフィードバック制御はもはや受け入れられなくなる。また許容される操作列は目標であり、それを正確に実現できなければならない。そこには繰り返し再現性も必要である。これが高い技能水準の一つの側面である。運転者は周囲環境に対応して自分自身の目標系列を生成し、それに従って車両を操作する。もし予測範囲が広くなり適切な目標機能が十分に事前に示されていれば実際の運転操作が目標に同期できる。こうした事は運転の技能水準を向上させることに役立つ。運転者は繰り返し学習により拡張された身体を用いて高い技能水準を獲得することができる。

大規模時系列データを対象とした人間行動特徴の抽出 および表現手法の獲得

大野 麻子（工学部電子情報通信工学科）

成果報告

本研究の目的はセンサ等を用いて人間行動を時系列データとして記録，文字列化し，その行動主体のもつ特徴的な行動パターンを表現するモデルを構築することである．具体的な内容として，次の2つを設定した．(A)代替大規模データとして小売店内回遊行動の結果として得られた時系列位置座標データや人の記述したテキストをトークン列化したデータを対象とし，提案手法を用いて特徴的なパターンの抽出およびモデル表現を行い，類似した特徴をもつ行動主体の分類を行う．(B)人間の運転時の行動を想定し座位における人の挙動を類型化し，ヒューマンビジョンコンポや JINS MEME といった人の視線やまぶたの動きを計測するセンサを用いて計測した値との紐づけを行い，各離散時刻における対象の状態を示す文字列を生成する．(A)および(B)の結果を統合し，運転中を想定した座位における人間行動の特徴をモデルにより表現し，行動特徴から運転者の分類を行うことが本研究の最終目標である．

これまでに小売店内を移動する顧客の時系列位置座標データを対象として回遊パターンを行動特徴として抽出し，隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model: HMM) により表現する手法を提案した．また，一般的な顧客動線の挙動とは異なる顧客の行動特徴を決定木モデル (Decision Tree) により判別する手法を考案した．本手法は提案アルゴリズムに従い文字列化を行うことで，様々な時系列データに適用することが可能である．その一例として，人の記述したテキストデータの特徴をモデルに学習させて作成者を識別する試みを行い，作成者の特徴的な記述パターンを学習済のモデルからいくつか見出すことができた[1] [2]．

また，センサを用いて対象人物の視線や目の開き具合を計測し，各時刻における人物の状態を文字で表すことにより一定時間における人間の行動を文字列化する試みを行った．まず，着座した状態の被験者を一定時間動画撮影し，代表的な姿勢や表情を行動特徴として抽出・類型化した．これらを集中状態と非集中状態（寝ている・下を向いている）に大別し，センサの計測値から判別した．判別については一致率 85%以上と概ね良好な結果が得られたがトークン化した時系列データを学習しその特徴を表現するモデルを構築するには至らなかった．

これまでに行った試みから得られた知見をとりまとめるとともに，機械学習を用いた行動分析を中心としたドライバ運転行動の学習についての研究動向について概説した[3]．

今後の展望として，(B)の試みにおいて判別した状態系列をモデルに学習させその傾向を表現し，運転者行動（操舵，アクセル，ブレーキ操作）を示す時系列データや車両の時系列位置座標データを学習させたモデルによる分類結果との関連を分析することがあげられる．

研究発表

- [1] Asako Ohno, Takahiro Yamasaki, Kin-ichiroh Tokiwa, and Kazuhide Togai, “Modeling of Authors’ Writing Styles to Detect Plagiarism in Japanese Academic Reports”, Proceedings of the Fourth International Conference on Electronics and Software Science (ICES2018), pp.29-35, 2018.
- [2] Asako Ohno, Takahiro Yamasaki, and Kin-ichiroh Tokiwa, “Similarity Measurement Based on Author’s Writing Styles for Academic Report Plagiarism Detection”, 電気学会論文誌C, Vol.140, No.2, 2020 (採録決定) .
- [3] 梅井 一英, 大野 麻子, 「ドライバの運転行動、運転意図の評価とモデル構築」, 『車載HMIの開発動向と自動運転、ADASへの応用』, 技術情報協会, 2019.