

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 統計的信号処理モデルに基づくドライバモデル

氏 名 西協 由博

### 論 文 内 容 の 要 旨

統計的信号処理手法に基づくドライバモデルを構築した。本論文では、運転行動信号の生成過程に関して、再帰的な生成過程を仮定している。すなわち、運転者が、速度、車間距離といった走行環境を「認知」し、アクセルペダルまたはブレーキペダルの操作量を「決定」し、実際にペダルを「操作」することで、運転行動信号が生成される。その結果として、車両が動く。そしてまた、車両が動いたことによって変化した走行環境を認知し、ペダル操作量を決定し、車両が動く再帰的な生成過程である。本研究で提案するドライバモデルはこの再帰過程に基づいている。

まず、1つ目のドライバモデルでは、運転行動信号の再帰的な生成過程の操作の部分に着目し、運転行動信号に含まれる個人性のモデル化を行った。観測される運転行動信号は、車両の速度や加速度、及び車間距離やレーン内位置などの走行環境の影響を受けいるため、運転行動信号そのものでは、運転者毎のペダルの踏み込み方や癖など運転者特有の特徴が表現できない。そこで、運転行動信号が、走行環境によって影響を受けると考えられる「運転指令信号」と、運転者特有の操作を表す「伝達関数」の畳み込みで得られると仮定し、観測された運転行動信号のみから、ブラインドデコンボリューションにより、伝達関数を推定し、車両や走行環境に依らない特徴抽出を行った。この伝達関数を求める手法として周波数分析手法(ケプストラム分析)を用い、運転者識別実験において、その識別率でケプストラム分析に基づくドライバモデルを評価した。

運転者識別実験のために、276名の運転者に対して実験車両を用いて、走行観測信号の収録を行った。運転者はそれぞれ同一の市街地を走行し、その際の走行観測信号を収録した。ケプストラム分析によって得られた特徴量は混合ガウスモデル(GMM)を用いてモデル化し、重み付き対数尤度を最大とする運転者を識別結果とした。276名の運転者識別実験の結果、ケプストラムを用いた場合に、76.8%の運

転者識別率が得られた。また、ペダル操作量の生値をそのまま用いた場合の識別率47.5%と比べ、55%の誤り削減率が得られた。このことから、ケプストラム分析を用いた個人性のモデル化手法が、運転行動信号そのものを用いる場合より、効果的に個人性をモデル化できることを確認した。

次に、再帰的な生成過程において、時々刻々と変化する車両状態と走行環境を基に、運転者がペダル操作を行う部分をドライバモデルとして、追従走行時のペダル操作量の予測モデルを構築した。ドライバモデルは、速度や車間距離といった運転者が影響を受けている特徴量を受け取り、運転者が操作するであろうアクセルペダルとブレーキペダルの操作量を予測する。運転行動信号の予測実験を行い、ドライバモデルによって運転者毎の運転様式が表現できているかを調査した。

ペダル操作の予測実験のために、10名の運転者に対してドライビングシミュレータを用いて、走行観測信号の収録を行った。走行コースは直線で、先行車のパターンを2種類用意し、追従走行時の走行観測信号を収録した。一つは、少し混雑した高速道路での走行を模擬した速度パターン、もう一つは、様々な速度が出現する人工的な速度パターンである。運転者の運転様式としては、例えば、適切な車間距離を保ちペダル操作量を一定量に保つ運転や、車間距離を詰めてペダル操作を頻繁に行う運転などがある。ドライバモデルとして、統計モデルであるGMMを用い、各時刻で最大の確率を与える値を予測結果とした。GMMは複数の混合要素から構成され、各々の混合要素が異なる走行モードを表現可能である。例えば、車間距離が離れて強くアクセルペダルを踏み込む走行モードや、車間距離が詰まりアクセルペダル操作が緩い走行モードがある。GMMは統計的な学習基準によって、複数の走行モードを、観測信号を明確にクラスタリングすることなく学習することができ、容易に運転者毎の運転様式を学習することができる。ドライバモデルがどの程度、運転者毎の運転様式を表現しているのかを客観的に評価するために、予測されたペダル操作量に対して信号対歪比(SDR)を計算し評価を行った。運転行動信号予測実験の結果、2秒先のペダル操作量が、9.24dBのSDRで予測可能であった。また、運転者依存のドライバモデルを用いてペダル操作量を予測した場合、運転者全体のドライバモデルを用いた場合に比べてSDR値が1.28dB程度高く、運転者毎の運転様式を示すペダル操作パターンが予測された。

最後に、運転者が運転行動を起こす前の走行環境を認知する部分に着目し、個々の運転者の運転傾向とそのゆらぎを表現するドライバモデルを提案し、車線変更時の車両軌跡のモデル化に適用した。すなわち、運転者が車線変更を行う直前の走行観測信号と周辺車両配置から、車線変更時の車両軌跡を予測するモデルを構築する。運転者は予め様々な車両軌跡を想定し、それらの中から最も好ましい軌跡を走行環境を認知して選択すると仮定し、2つの処理により運転軌跡を生成する。第1の処理では、車両位置とその時間変化の時系列をモデル化する隠れマルコフモデ

ル(HMM)により、ドライバの運転傾向が表現され、第2の処理では周辺車両に対する車間距離分布により、運転者の車両間隔特性が表現される。HMMから高い確率で生成される車両軌跡の仮説群を生成し、それらの中から運転者の車両間隔特性を最も高い確率で満たす軌跡を選択することで、車線変更開始直前の初期観測信号と初期周辺車両配置に対して、運転者の特性に応じた車両軌跡が予測される。HMMのパラメータは、2つ目のGMMに基づくドライバモデルと同様に、観測された走行観測信号から、最大尤度規範に基づいて学習可能であり、運転者毎のモデルを容易に構築することができる。

このドライバモデルを評価するために、2名の運転者に対してドライビングシミュレータを用いて、車線変更時の走行観測信号を収録し、車両軌跡予測実験を行った。生成された車両軌跡はSDRによって定量的に評価した。評価実験の結果、20秒程度に亘って行われる車線変更の軌跡を、17.6mの二乗平均平方根誤差に相当する26.1dBのSDRで予測することが可能であること、運転者毎の特性を適切に表現する軌跡が生成されていることが確認され、提案法の有効性が明らかになった。

以上のように、本論文では、運転行動信号の再帰的な生成過程に基づくドライバモデルを提案した。いずれのドライバモデルも運転者の個人性を効果的に表現したモデルであることが実験的に示された。