

4. 交通弱者のための交通システム

機械工学系 教授 章 忠, 准教授 三宅 哲夫, 助教 今村 孝

4-1 ドライバの個性に着目した社会共生型安全運転支援に関する研究

大都市と異なり地方都市にとって、自動車は重要な移動手段である。また、高齢者ドライバの急増、安全性や環境性など運転に求められる要素の多様化に伴い、自動車側の運転支援能力も高度化・多様化しつつある。そのため自動車の持つさまざまなリスクと社会生活との両立・共生が不可欠である。

本研究ではドライバの個性を情報・数値化する技術を通じ、社会や歩行者に対して安全な運転の実現、多様化するドライバの運転能力の平準化を目指した新たな運転支援のあり方について研究を行う。

本報告では、その基礎技術として、主に（１）ドライバ行動計測、（２）ドライバの集中度評価に関する研究成果を報告する。（１）ドライバ行動計測としては、主にドライバの眠気を催した際の表情、および、ハンドル操作行動の計測・評価技術について研究を行った。また（２）ドライバの集中度評価としては、（１）の計測結果と車外環境情報を統合した、運転時のドライバの眠気や漫然度合い、集中などを定量評価する手法について、ドライビングシミュレータを用いた実験にもとづく研究を行った。

（１）ドライバ行動計測に関する研究

1) 眠気早期検出のための表情変化の検出手法

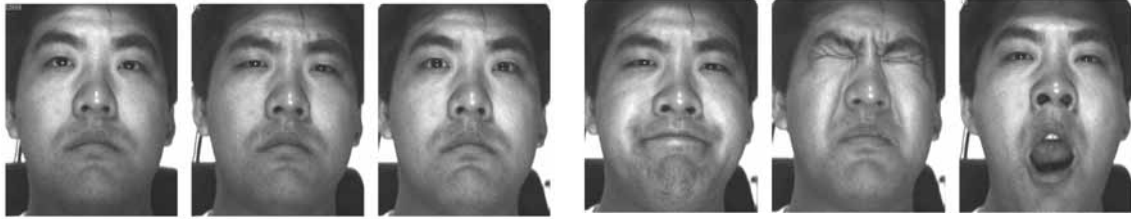
①はじめに

世界では、年間 130 万人が交通事故で亡くなっているが、その数は今後も増加するといわれている。このような背景のもと、安全運転支援技術の開発が大きな課題となっている。

一方、眠気はドライバの感覚器官を鈍感にし、注意力の散漫、判断力の減衰を引き起こし、重大な事故につながる可能性を高める。よって、眠気の初期にその兆候を検出することが、安全運転支援技術として重要である。そこで、本研究では人の眠気状態を良く表す表情に着目した。また、その表情を構成する瞬きの変化や欠伸（あくび）、さらには、覚醒のための努力を表す独特の表情（以下、覚醒努力表情）からは、早期の眠気ができると考えられる。ゆえに、本研究では安全運転支援を目的として表情変化の検出を目指す。

②検出対象とする表情変化の検討

検出対象とする、表情変化の中でも覚醒努力表情は、口の動きや目を見開くなどが報告されているが、明確な定義はない。そこで、検出対象とする覚醒努力表情を決定するために、被験者 5 人について、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を行い、表情変化を撮影した。被験者の顔に表れた表情を図 4-1-1 に示す。



(a) 平常 (b) 眉間をよせる (c) 目を見開く (d) 口を動かす (e) 強い瞬き (f) 欠伸

図 4-1-1 ドライバ表情の例

被験者には、上記のような 6 種類の表情が見られた。その表情を解析すると、(c) 目を見開く、(e) 強い瞬きの表情は、眠気により筋肉が弛緩し瞼(まぶた)が下がった状態を改善し、車両前方を良く見ようと努力した結果、生じるものと考えられる。また、この 2 つの変化は (c) が 4 人、(e) が 5 人と多くの被験者に見られた。(f) 欠伸は被験者の眠そうな表情に伴うことが確認できたが、この表情は不随意的行動であり、覚醒努力表情ではない。(b) 眉間をよせる、(d) 口を動かす といったものは眠気との関連性を確認できなかった。例えば、(b) はトンネル通過時の急激な明度変化により、顔に表れた。また、これらの表情変化は被験者が眠るより 30 分も前から表情に表れ始めており、早期検出に有効であることがうかがえる。

以上の結果から本研究では、瞬きの変化に加え、眠気に関係のある表情として (f) 欠伸と覚醒努力表情の (c) 目を見開く、(e) 強い瞬きを検出対象とすることとした。

③表情変化検出システムの構成

図 4-1-1 (a) 平常顔などを基準とした従来の表情検出では、似た表情である図 4-1-1 (c) の検出が困難である。加えて、事前に基準顔を取得する必要がある。そこで、本研究では表情変化の検出を提案する。表情変化はカメラで取得した動画像の 1[frame]ごとの違いから検出する。そのため、個人に依存した基準情報が不必要である。加えて、変化に着目した検出とすることで、車輛前方を良く見ようとする表情変化 図 4-1-1 (c) が検出できる。

さて、本研究で提案する表情変化検出は、以下の 3 つのプロセスにより構成する。

第 1 プロセス：カメラで取得した顔画像から顔部位(目や口)の位置を検出

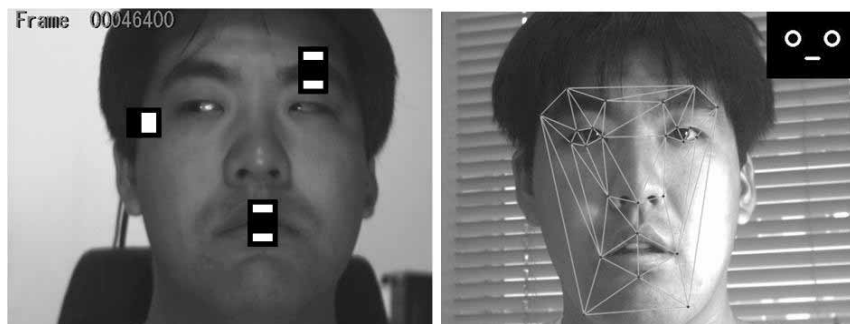
第 2 プロセス：目や口の位置情報を基に、表情変化を表す特徴量を検出

第 3 プロセス：特徴量を基に、眠気に関係する表情変化を推定

④顔部位の検出

まず顔部位の検出としては、Harr-like 特徴を用いて顔の位置を検出する。Harr-like 特徴は短形領域の明度差を用いる特徴量であり、ロバスト性に優れる手法であり、今回システム実装に用いた画像処理ライブラリ OpenCV にも関数ライブラリが用意されている。その検出例を図 4-1-2 (a) に示す。次に Active Appearance Model (以下、AAM) を用い、顔位置を基に顔部位の位置検出を行う。AAM は、形状 とテクスチャ の情報を持つ、図 4-1-2 (b) のような柔軟に変形するワイヤフレームモデルであり、顔の追跡性能に優れる。図 4-1-2 (b) の顔に描かれ

た線（AAM のワイヤフレーム）の端点は目や口の端点位置に相当し、顔部位が適切に検出できることが画像から確認できる。



(a) Harr-like 特徴による検出例 (b) AAM のフィッティング結果

図 4-1-2 顔部位の検出結果

この AAM は以下の式で表される。

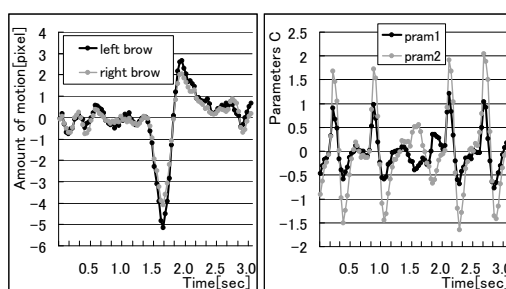
$$s = \bar{s} + P_s W_s^{-1} Q_s c \quad (1)$$

$$g = \bar{g} + P_g Q_g c \quad (2)$$

ここで、 $\bar{s}$ は形状、 $\bar{g}$ はテクスチャの平均である。 P 、 Q は平均からの偏差を主成分分析して得られる固有ベクトルである。 W は形状と輝度を統合するための行列である。 c は AAM をフィッティングさせるために変化させる値である。顔画像に AAM をフィッティングさせるには式(2)において c の値を変化させ g を最小化する。そして、得られた c を式(1)に代入することにより、画像中の対象物の形状が得られる。

⑤表情変化を表す特徴量

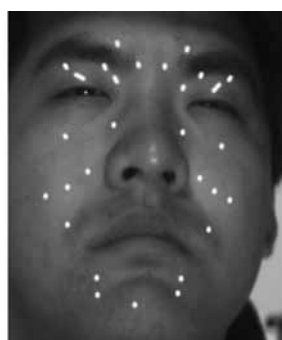
AAM を用いた顔部位検出の結果から、表情変化を表す特徴量を得る。その特徴量の 1 つは目や口の端点位置の変化である。また、2 つ目としてフィッティングのため式(1)、(2)中で変化させた c を特徴量とする。それぞれの変化の例を図 4-1-3 に示す。ここで、入力した動画は、1.5～2.5[s]の間に目を見開く表情をしている。その変化が図 4-1-3 の 2 種類の特徴量の変化からも見て取れ、適切に検出できたことが確認できる。ここで、2 種類の特徴量について見られる周期的な変化は瞬きによるものである。この結果から取得した特徴量が表情認識のために有効であるといえる。



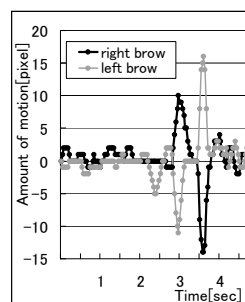
(a) AAM の端点位置 (b) 特徴量 c

図 4-1-3 AAM による特徴量抽出の結果と表情変化との関係

上記2種類の特徴に加え、本研究では、オプティカルフローとして頬など輝度的特徴の少ない部位の動きを検出する。オプティカルフローの検出方法にはブロックマッチング法を用いた。ブロックマッチング法は、現在の画像の一部をテンプレートとして1つ前の時刻の画像中から最も一致する部分を探査する方法である。そのオプティカルフローの検出結果を図4-1-4に示す。図中の白線がオプティカルフローである。各線の長さが動きの大きさを表し、被験者の強い瞬きの動作と一致することを確認した。



(a) オプティカルフローの計算結果

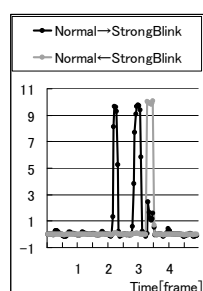


(b) 特徴量

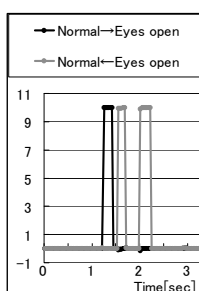
図4-1-4 オプティカルフローの計算結果と特徴量の変化

⑥眠気を表す表情変化の検出

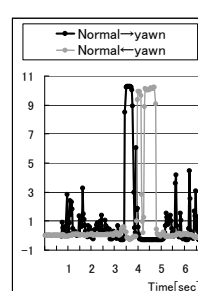
眠気を表す欠伸と覚醒努力表情の検出は、ニューラルネットワーク（以下、NN）により行う。NNは入力・中間・出力の3層からなる。また、入力層には前節にて述べた3種類の特徴量を適用しており、得られる出力はそれぞれの表情変化の有無とした。NNを用いて検出した結果を図4-1-5に示す。



(a) 強い瞬き



(b) 目を見開く



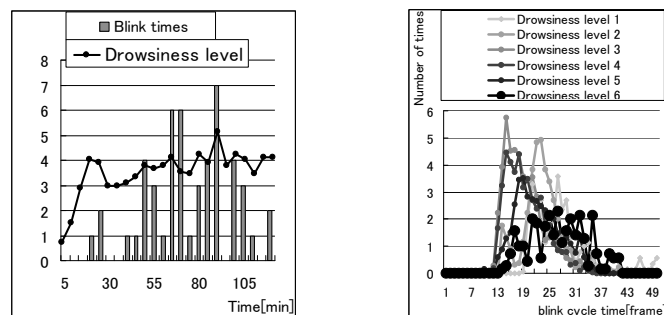
(c) 欠伸

図4-1-5 ニューラルネットワークによる特徴量変化の検出

図の縦軸は、値が10の時に表情変化があったことを表し、値が0の時は表情変化が無いことを表す。図4-1-5(a)では、強い瞬きへ徐々に変化する様子が2回の強い瞬きへの変化として検出された後、平常へ戻る表情変化が検出された。このように、他の表情変化においても同様に表情変化を検出でき、本検出手法の有効性が確認できた。

次に、瞬きから眠気の検出を行う。ここでは、軽度から重度の眠気を1から順に6まで段階別に分け、瞬き周期と閉眼時間の変化について実験した。その結果を図4-1-6に示す。ここで、

閉眼時間は2[s]以上を異常として診断した。図4-1-6(a)の折れ線グラフは、目視判別した被験者の眠気を、また、同図の棒グラフは単位時間あたりの2[s]以上の閉眼回数を示している。いずれも、眠気の増大に伴い増加する傾向が確認できた。一方、図4-1-6(b)は、瞬き周期のヒストグラムを表す。その結果、眠気の進行に伴い、瞬き周期が一旦短くなった後長くなる傾向が捉えられた。すなわち、初期の眠気判別には15[frame]以下の瞬き周期が頻繁に起きた時点が異常な瞬きと診断すればよいと考えられる。



(a) 閉眼時間と目視の眠気レベル (b) 瞬き周期の変化

図 4-1-6 瞬きと眠気レベルの関係解析結果

⑦おわりに

本研究では、早期の眠気と関連のある表情変化の検出を目指し、AAM とブロックマッチング法を用いた表情変化特徴量の検出法を提案した。その特徴量をもとに NN を用いた表情変化の識別と眠気を表す瞬きの検出を行った。また総合的な関連性として、眠気を表す表情変化として瞬きと眠気の関連性を明らかにした。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松本 卓也)

2) ハンドルセンサを用いた把持行動計測と把持姿勢推定

①はじめに

前章で示した画像計測手法は、ドライバ状態の計測手法としてドライバへの負担の少ない非接触方式である。一方、ドライバの生体情報を検出する手段には、早期かつ正確な測定法が求められることから、現状では接触式センサを用いた皮膚からの直接検出が望ましいといえる。そのためには、センサの接触・装着によるドライバへの負担軽減も重要である。そこで、これらを満足する方法として、ドライバが運転中に必ず触れるハンドルに圧力センサを埋め込んだハンドルセンサを、我々は提案してきた。

本研究では、居眠り運転や漫然運転等の心理状態との関連付けをめざし、生体情報としてのハンドルの把持行動の定量評価を目的としている。本報では、特にハンドルの把持姿勢を把持圧力から推定する方法を検討する。

②システム概要

図 4-1-7 に本研究で開発したハンドルセンサの外観及び圧力センサの埋め込み配置を示す。図中の○で示した位置に圧力センサが埋めこまれており、また○の各色はハンドル部材の円筒断面形状に対して、ドライバが取りうる把持形態（手を当てる、握るなど）に対応する配置となっており、赤色の○がハンドル円周状、黄緑色が円外側周、水色が円内側周、黄色がスポーク部への各配置を示す。配置された圧力センサの合計は 28 点であり、イナバゴム株式会社製イナストマーSF タイプ（計測域 最大 0.21[MPa] (1550[mmHg])，分解能 0.4[kPa] (3[mmHg])）を用いている。各センサからの検出値は集線装置を介して、50[ms]のサンプリング周期で USB 経由で PC に収録できる。

なお、本報の実験では、右手把持部に当たる図 4-1-7 中の 3 番（ハンドル円面上）と 15 番（円外側周上）の各センサを計測対象とした。なお、ハンドル内に実装後のセンサ精度を実測したところ、各値の標準偏差は 10.7[kPa] (80[mmHg]) となった。

③把持行動の定義と計測

手指による動作・行動を示す言葉としては、「把持」や「把握」などがある。本報ではハンドルを握る位置、握る際のハンドル断面形状と手指の位置関係、およびその握り圧力を総称して「把持行動」、また握る位置を「把持位置」、手指の位置関係を「把持姿勢」、握り圧力を「把持圧力」とそれぞれ呼称することとした。以上の定義にもとづき、特にドライバの把持姿勢をさらに分類し、把持姿勢と把持圧力の分布傾向との関連を明らかにする。

ドライバの把持行動、特に把持圧力を正確に計測する上で、把持位置およびハンドル断面形状に対する把持姿勢を推定することが重要となる。そこで、本報では把持圧力を把持した際の圧力値をパラメータとして表現し、把持位置・姿勢の分類・定義し、推定方法を提案する。



図 4-1-7 ハンドルセンサの概観とセンサ配置

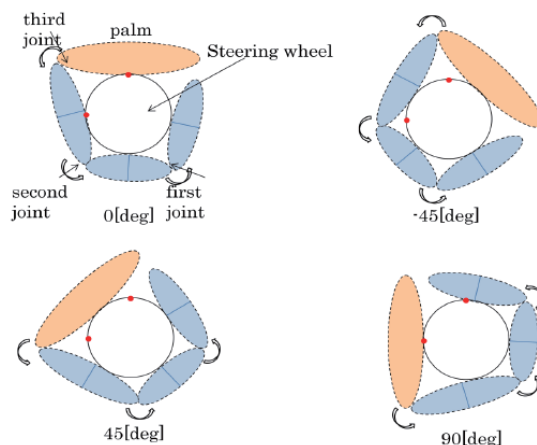


図 4-1-8 ハンドル断面形状に対する指配置による把持姿勢分類

図 4-1-8 は図 4-1-7 の上面からハンドルを握った際のモデル図である。また図中赤色で示した点が 3 番および 15 番センサの配置である。図 4-1-8 では、親指と人差し指の間とハンドル面との角度が直角状態を原点とし、右回りを正方向とする。一般的にドライバがとりうる把持姿勢は、ハンドルに対する角度が $-90 \sim 90[\text{deg}]$ が想定されるが、手首や腕の関節可動域に対して、 $-90[\text{deg}]$ は把持しにくい姿勢であることから除外した。この角度範囲のうち、代表的な姿勢として、本報では $-45, 0, 45, 90[\text{deg}]$ の 4 種類を取り上げ、それぞれの把持圧力を計測した。本実験では $-45 \sim 90[\text{deg}]$ のそれぞれの把持行動において各 20 回ずつ把持することとし、その結果を考察した。

本研究で実施した実験における圧力データの一例を図 4-1-9 (a) に示す。図 4-1-9 (a) は $0[\text{deg}]$ における圧力データである。一方で、実際の運転行動では、把持圧力が定常しづらく検証が難しい。そこで、圧力値について、ハンドル面上の 3 番センサの値を、外側周上の 15 番センサの値で除したものを圧力比 (Pr) と定義し、それをを用いた評価を検証した。その結果を図 4-1-9 (b) に示す。この結果より、それぞれ把持姿勢ごとに圧力比の分布傾向が異なることが分かる。また、圧力比は各把持姿勢に対して、 $0[\text{deg}]$ で最も大きく、次いで $-45, 45, 90[\text{deg}]$ となる分布傾向が変化することが確認された。

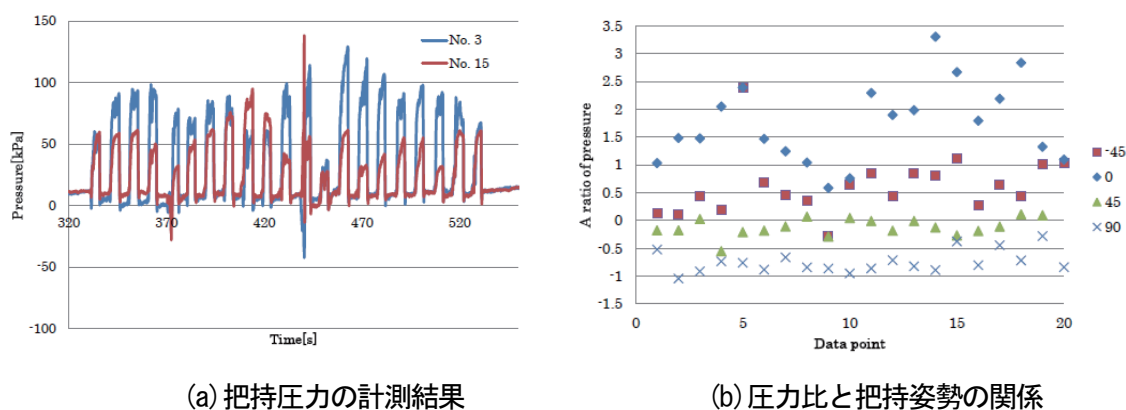


図 4-1-9 把持圧力の計測と把持姿勢の推定結果

④おわりに

本研究では、ドライバの把持行動計測を目的とし、ハンドルセンサを用いた把持姿勢の分類・推定方法を検討した。そして代表的な把持姿勢の定義と把持圧力の計測結果と圧力比による把持姿勢分類法を検討した。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 竹内 優斗)

(2) ドライバの集中度評価に関する研究

1) 漫然運転検出システムの提案

日本の交通事故死者数は、交通事故対策や安全運転支援システムなどの効果により、1995 年以降減少している。しかし、事故発生件数はいまだに 725,773 件と十分な減少に至っていない⁽⁴⁻¹⁻¹⁾。その主な原因として、日常的な走行経路における車両前方不注意、脇見、ぼんやり運転などの、いわゆる漫

然運転が多くを占めている。このことは重大な問題であるにも関わらず、現状では積極的な漫然運転の防止対策がなされていない。

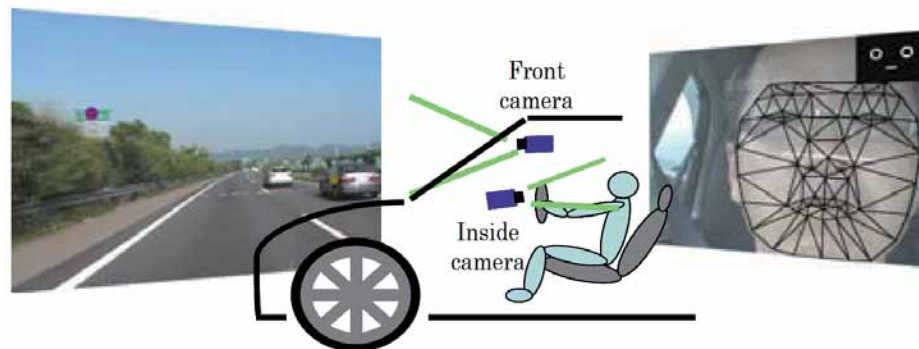


図 4-1-10 提案する漫然運転検出システムの概略

そこで、本研究では、ドライバーの運転状態を判断するシステムとして、図 4-1-10 に示すようなカメラシステムを提案し、これにもとづくドライバーの運転集中度評価法を提案している。このようなシステムを指標とすることでドライバーへの警告、注意を喚起し、交通事故を未然に防止することが可能であると考えられる。提案するシステムは、図 4-1-10 に示すように、車両に二台の単眼カメラを搭載し、ドライバー行動と車両外の環境情報を計測する。Camera 1 は車両前方を撮影し、走行環境のうち前方方向に存在する注視すべき対象物を抽出する。一方、Camera 2 はドライバーの顔を撮影し、前章で示したような表情や視線方向の計測を行い、ドライバー行動の特徴量とする。これら二台のカメラから得られる情報にもとづき、相互の関連性や行動の妥当性を判断して、ドライバーの運転集中度の推定を行うのが本章のシステムである。

次節以降では、2つの異なるアプローチによる、運転集中度の推定方法とその検証結果について報告する。

2) ファジィ推論を用いた運転集中度の評価

①ファジィ推論とファジィルールの決定

ファジィ推論とは、定量的に規定できない「あいまいさ」をルールの条件や結論に記述できる推論方式である。理論値が 0 以上 1 以下の任意の実数を取り扱い、0 に近いほど偽に近く、1 に近いほど真に近いという推論である。

ファジィ推論のルールは曖昧性を含む「IF $x=A$ AND $y=B$ THEN $z=C$ 」のような IF-THEN 形式となる。それぞれ、IF で示されるメンバーシップの前件部、THEN で示されるメンバーシップの後件部と呼ばれ、 x , y , z は変数、 A , B , C はファジィ集合である。「 $x=A$ 」は「 $x \in A$ 」すなわち「 x はファジィ集合 A に属する」という意味を表す。

本研究では、ドライバーの視線と注視対象との距離、およびドライバーの視線と走行している車線の前方遠点との距離を前件部の条件として、後件部の出力値、すなわち運転集中度を表す指標を決定する。

表 4-1-1 にファジィ推論のルールを示す。

表 4-1-1 ファジィ推論のルール

	Antecedent				Consequent	
		Input 1		Input 2		Output
Rule 1	I F	Short	A N D	Short	T	3
Rule 2		Short		Long	H	2
Rule 3		Long		Short	E	2
Rule 4		Long		Long	N	1

Input 1: Distance between gaze point - targeted object

Input 2: Distance between gaze point - far point

Output: Level of driving attentiveness

②メンバーシップ関数の決定

■ 前件部

上述したファジィルールをもとに図 4-1-11 に示すメンバーシップ関数の前件部を決定した。ただし、入力 1 と入力 2 の画像上の距離 r [pixel] はユークリッド距離である。図 4-1-11 の前件部の入力 1 を例として、「ドライバの視線と注視対象との距離が短い」ときの折れ線は以下のような関数とした。P と Q は運転時のある対象を注視しながら同時に認知できる範囲が 4～20[deg] 程度という有効視野に関する情報⁽⁴⁻¹⁻²⁾ を参考に決定した。また視線推定の誤差半径は 2[deg] であるため、P と Q をそれぞれ 8～24[deg] とした。図 4-1-12 に P_1 , Q_1 と r_1 の関係を示す。

$$\begin{aligned} \mu(r_1) &= 1 & \text{if } 0 \leq r_1 < P_1 \\ \mu(r_1) &= 1 - (P_1 / Q_1)(r_1 - P_1) & \text{if } P_1 \leq r_1 < Q_1 \\ \mu(r_1) &= 0 & \text{if } Q_1 \leq r_1 \end{aligned}$$

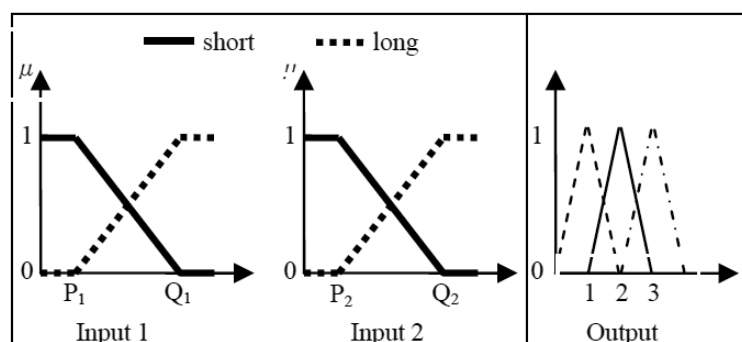


図 4-1-11 メンバーシップ関数の設計

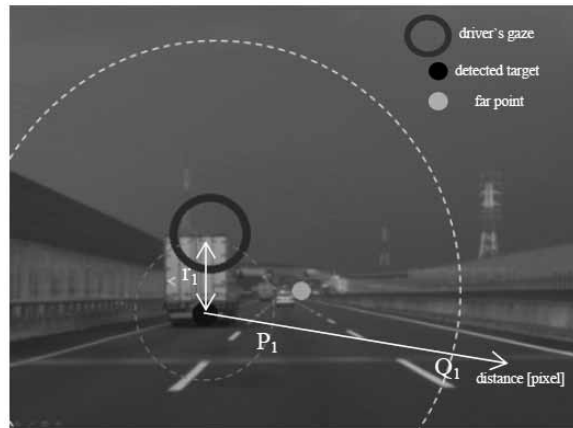


図 4-1-12 視野角等の変数の定義と有効視野との関係

■ 後件部

入力 1 と 2 は前件部のメンバーシップ関数によってそれぞれの適合度 μ に変換される。そして、同じルール内の μ の論理積を前件部の適合度とし、図 4-1-11 に示す後件部のメンバーシップ関数によって、各ルールに対する推論結果を得る。しかし、ファジィ推論の結果は当然曖昧性を持っているため、数値として結果を出力する脱ファジィ化という非ファジィ処理を行う必要がある。そこで、非ファジィ化でよく用いられる重心法を用いて、後件部の出力の重心を求め、ドライバの集中力を評価する。図 4-1-13 に、ファジィルール 2 をもとに作成したメンバーシップ関数を示す。

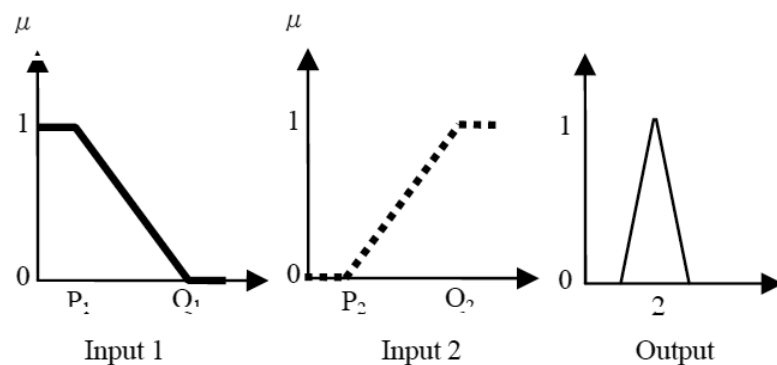


図 4-1-13 ルール 2 に関するメンバーシップ関数

③検証実験と考察

今回提案したファジィ推論による運転集中度の推定結果を検証するために、ドライビングシミュレータを用いて以下の内容で実験を行った。実験の条件は表 4-1-2 に示す。

表 4-1-2 検証実験の条件

Type of Course	Expressway
Running Lane	Left land
Speed Limitation	100km/h ~ 120km/h
Overtaking	Allowed

実験としては、以下の2パターンの実験を試行した。

実験1 通常運転

実験2 運転中に暗算やQ&Aなど運転集中度の低下を促す副次タスクを付与

特に、実験2では、タスクを付与してから被験者が解答をはじめるまでの時間を記録し、被験者の運転集中度が低下傾向を評価することとした。

図4-1-14に実験1、図4-1-15に実験2の結果の一部をそれぞれ示す。ただし、グラフのデータは10[frame]ごとのファジィ推論で得られた結果を平均したものである。なお図中の網掛け部分は被験者がタスクに対する解答を考えている区間を示す。

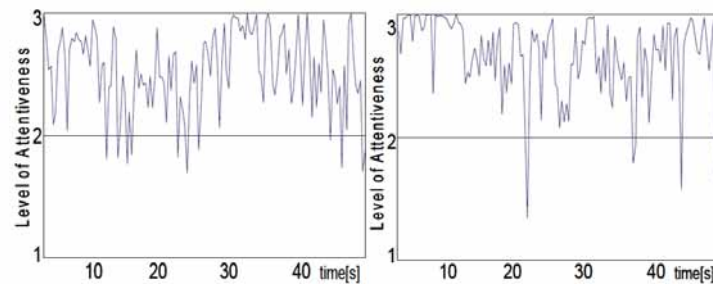


図4-1-14 副次タスクを伴わない通常運転時の推論結果

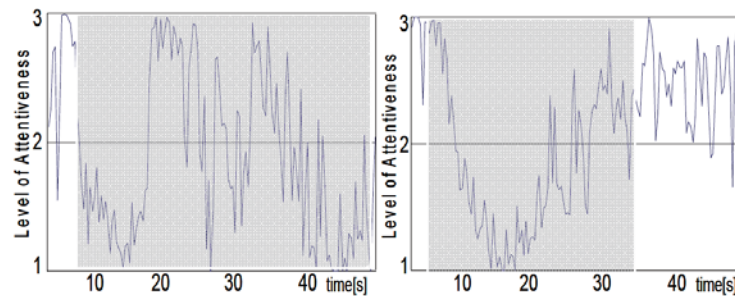


図4-1-15 副次タスクを伴う運転時の推論結果

図4-1-14に示すように、被験者が運転にのみ集中できる場合の推論結果では集中度のレベル2~3の間が多く得られる傾向となった。これに対して、被験者が副次タスクを与えられている場合の推論結果では、集中度のレベルは低下することが図4-1-15より確認できる。

④まとめ

本研究では、運転集中度を推定することを目的として、ファジィ推論を用いる手法を提案した。また、副次タスクを付与した運転実験により、本手法の有効性を確認した。今後は、他の入力パラメータを導入することで、ぼんやり運転、脇見などの漫然運転へ推論・検出対象を広げ、検証を進めていく。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, ELVIN TIONG CHEW LUN)

3) 隠れマルコフモデルを用いた運転集中度の評価

①注視行動と運転集中状態

本研究では、ドライバの注視行動に着目し、その特性にもとづいて運転集中状態を定義する。

注視とは、一定時間にわたって同じ対象を見続けることである。過去の実験結果を踏まえて、注視に必要な時間を100～200[ms]とする。また、ヒトの有効視野角が2～3[deg]であることから、視線の変位量が3[deg]以下の場合に注視していると判断できる。ただし、交通環境が常に変化し続けることを想定し、本研究では20[s]毎に注視行動を評価・更新することとする。

以上の仮定より得られた注視行動の妥当性を、視線のばらつき及び注視継続時間、安全逸脱行為によって評価する。

視線のばらつきは、20[s]における視線の画像上の座標から分散を計算したものである。各運転集中状態の正規分布を参照し、尤もらしいグループに属するものとした。

注視継続時間はa) 100[ms]未満、b) 100[ms]以上400[ms] 未満、c) 400[ms]以上の3種類とする。そしてb) 100[ms] 以上400[ms] 未満を「適切な注視」、c) 400[ms]以上を「不適切な注視」とする。これを20[s]毎に「適切な注視」に対する「不適切な注視」の割合を計算し、閾値処理により3つのグループに分類する。

安全逸脱行為は、適切、前方不注視、車線逸脱、不要運転の4つに分類する。この逸脱行為の分類には、接近離間状態評価指標 KdB⁽⁴⁻¹⁻³⁾を適用する。ここでは、本実験に使用するドライビングシミュレータ上で、前方を走行する車両の映像を取得し、離間状態評価指標 KdB を算出し、図4-1-16に示す関係式を求めた。

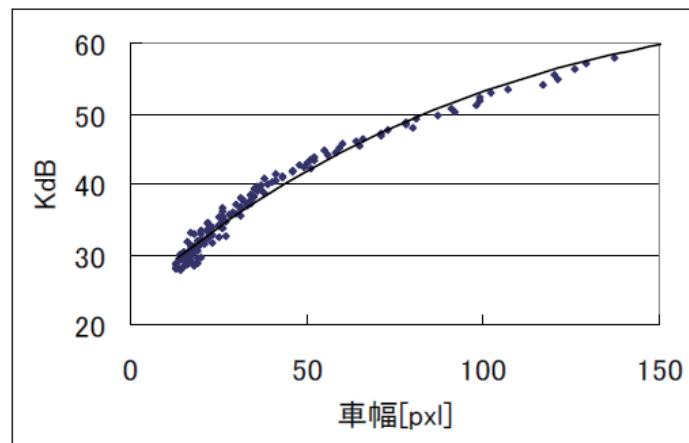


図4-1-16 ドライビングシミュレータ DS-6000 上でのKdB 算出結果

ドライバが車線変更を行う際の追い越し対象となる車両の車幅を閾値とし、図4-1-16をLookupTableとすることで、ドライバの前方不注視を判定する。また、前方映像内の白線を検出し、自車位置との関係より車線逸脱を検出する。ただし、完全に隣接する車線へ移動した場合は斜線変更とする。さらに注視状況を判断し、その適切・不適切により、適切と不要運転を判別する。

以上の、「視線のばらつき」の3段階、「注視継続時間」の3段階、「安全逸脱行為」の4段階の組み合わせ36通りが注視行動量となる。

②運転集中状態のモデル化とその検証

本研究では、前節で定義した注視行動量を用い、通常運転・漫然運転・居眠り運転の3状態を有するドライバの運転意識モデルを隠れマルコフモデル (Hidden Markov Model: HMM) を用いて、図 4-1-17 のようにモデル化する。

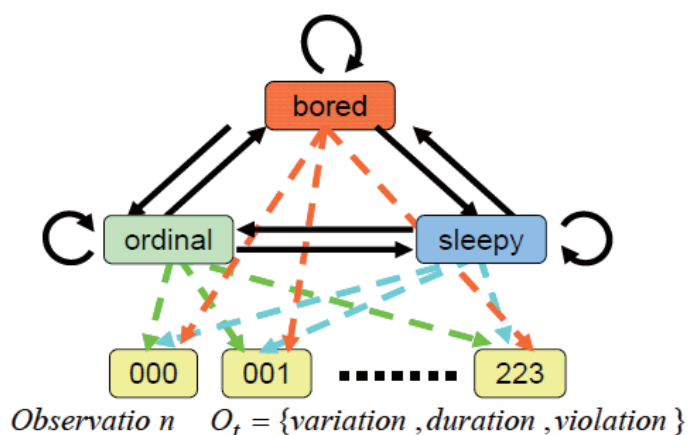


図 4-1-17 ドライバの運転意識モデル

以上のモデルについて、以下の被験者実験により収集した学習データ・検証データを用いて、その妥当性を検証する。

実験ではドライビングシミュレータ上の高速道路コースを一定の速度で運転することとした。被験者は健康な 20 代男性 1 名で、2[hour] の運転実験とした。このときシミュレータには意思表示用スイッチを取り付け、ドライバに運転時の意思・意識の変化の提示を依頼した。スイッチは、眠気を自覚したときの“眠気”スイッチ、運転に飽きたと感じたときに“倦怠”スイッチ、疲れたと感じたときの“疲労”スイッチの 3 種類とした。このスイッチ操作にもとづき、実験時に撮影したドライバの顔映像を分類した。また、実験後の被験者アンケート等により再度映像を分類し、HMM の学習データとした。

これにより HMM を構築した後、検証データ収集のための実験を実施した。被験者および走行条件は学習データの収集実験時と同様とした。なお、この際、ドライバの顔画像に対して、Active Shape Model (ASM) を適用して、顔の検出および黒目の変位量から視線方向ベクトルを取得し、車両前方映像に投影し、注視行動データとした。

図 4-1-18 に実験中のドライバ顔映像を実験者が主観的に推定 (評定) した運転集中状態と HMM を用いた推定結果の比較結果を示す。この結果より、主観的推定と HMM 推定の一致率は、通常運転 53%、漫然運転 70%、居眠り運転 62% であることが確認できる。また、漫然運転、居眠り運転と比較して通常運転は誤推定が多く、誤推定の約 6 割を通常運転が占めていることが確認できる。その中でも通常運転の 32% を漫然運転として推定している。

HMM推定		通常	漫然	居眠り
主観的推定	通常	53%	32%	13%
	漫然	12%	70%	17%
	居眠り	4%	34%	62%

※意識状態検出率(HMM推定意識/主観的推定意識)

図 4-1-18 ドライバモデルを用いた推定結果

③まとめ

本研究では、隠れマルコフモデルとドライバの注視行動を用いたドライバ状態の推定手法を検討した。ドライビングシミュレータを用いた運転行動計測結果に適用した結果、60%前後の推定率を確認するとともに、誤推定の要因として、交通環境による注視行動の変化や、モデル化した行動を構成する特徴量の類似性が挙げられる。今後はこれらを改善し、推定率の向上を図る。

(三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 松永 惇)

(4) 研究発表実績, 今後の課題

本研究テーマについては、平成 23 年度において、以下の研究発表を行った。

■学術論文投稿

1. Zhong Zhang, Ahmad Fathullah Bin Rahim, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Detection of Saccade Using Image-Based Measurement System to Estimate Early Signs of Drowsiness, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.635-640
2. Tetsuo Miyake, Takuya Matsumoto, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Estimation of Facial Expression from Its Change in Time, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.641-646
3. Takashi Imamura, Hagito Yamashita, Zhong Zhang and Tetsuo Miyake, A Study of Classification for Driver's Normality Using Cooperativeness of Driving Behaviors, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.647-652
4. Tetsuo Miyake, Jun Fujimoto, Makoto Matsunaga, Takashi Imamura and Zhong Zhang, Measurement of Viewing Direction for Safety Driving Support System with Monocular Camera, Innovative Computing, Information and Control Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.653-658
5. Md Rizal Othman, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Driver Inattention Analysis Using Neural Network Based Nonlinear ARX Model, Innovative Computing,

Information and Control ICIC Express letters, Part B: Applications, Vol. 2, Num. 3 (June 2011), pp.679-686

6. Takuma Akiduki, Zhong Zhang, Takashi Imamura and Tetsuo Miyake, Design of Multi-Valued Cellular Neural Networks for Associative Memories, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.8, No.3(A)(March 2012) pp.1575-1590.

■国際学会論文発表

1. Takuma Akiduki, Zhong Zhang, Takashi Imamura, Tetsuo Miyake, Human Motion Analysis from Inertial Sensor Data Based on Nonlinear Dynamics, Proc. of 18th IFAC World Congress 2011(Milan, Italy, 28th Aug.-2nd Sept.), pp.7396-7401
2. Takashi IMAMURA, Hiroyuki TOMINAGA, Megumi FUJIYASU, Zhong ZHANG, Tetsuo MIYAKE and Kiyooki KAKIHARA, Identification for Human Posture Dynamics Induced by Visual Stimulation, Proc. of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics (SMC2011, Oct. 9-12, 2011, Alaska, USA), pp.201-207

■国内学会発表

1. 今村孝, 富永祐之, 章忠, 三宅哲夫, 視覚誘導性身体動揺の計測とパラメータ同定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2011), pp.2P2-O02(1)-(4).pdf, (2011.05.27-28)
2. 秋月拓磨, 章忠, 今村孝, 三宅哲夫, 慣性センサ群による自動車運転操作における上肢動作計測法の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門講演会 (ROBOMECH2011), pp.2P2-O10(1)-(2).pdf, (2011.05.27-28)
3. 竹内 優斗, 今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, ハンドルセンサを用いた把持行動と把持圧力計測, 第54回自動制御連合講演会, pp.206-207, (2011.11.19-20)
4. 福山 育也, 三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 車両前方画像からの物体抽出における色空間の選択, 第54回自動制御連合講演会, pp.684-688, (2011.11.19-20)
5. 今村 孝, 視覚誘導性身体動揺の挙動定量化パラメータの提案とその同定法に関する研究, 平成23年度 統計数理研究所共同研究集会「医学・工学における逆問題とその周辺(3)」, (2011.11.27)
6. 松永 惇, 三宅 哲夫, 今村 孝, 章 忠, 注視行動計測に基づくドライバの意識状態推定, 第12回システムインテグレーション部門講演会(SI2011), pp.2421-2424, (2011.12.23-25)

本報告に示したように、ドライバ計測に関する基礎技術の構築とその実験・実証が進んでいる。特に、次章に示すように本年度導入したドライビングシミュレータにより、現状困難な実車環境での実験に替わる方法も拡充できており、これらを活用した検証実験等を重ね、実装・実用化に向けた検証・知見蓄積を行い、計測精度や実現性の向上を行うことが課題である。

参考文献

- (4-1-1) 平成 22 年中の交通事故の発生状況, www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001070719, 警察庁交通局, (2011)
- (4-1-2) 三浦利章, 行動と視野的注意, 風間書房, (1996)
- (4-1-3) 津留直彦他, 運転者の視覚認知機能の解明とモデル化の研究, デンソーテクニカルレビュー, Vol.12, No.1, (2007)

4-2 新規導入したドライビングシミュレータソフト・システムの構築

本報告4-1 (1), (2)にあるように、これまでドライバの行動計測に立脚した安全運転支援システムの開発研究において、その行動計測環境としてドライビングシミュレータを用いてきた。その環境整備の一つとして、走行環境設計が容易な新たなドライビングシミュレータを導入した。本章では(1) 導入の経緯とシステム概要、および(2) 適用事例の2点について報告する。

(1) 新規導入システムの概要

1) はじめに

自動車関連研究においては、走行中の環境において、車両の挙動やドライバの行動など多面的な環境における評価・検証が要求される。その方法としては、実車や公道を用いた実環境での検証方法と、ドライビングシミュレータにより仮想的に用意された環境での検証とが挙げられる。

特に、自動車運転中の車内における環境やドライバの行動を計測する方法としては、主に計測機材設置の観点から、ドライビングシミュレータによる検証が主とされてきた。近年では、計測機材の小型化等により、実車環境での実験・データ計測方法が提案・実証されてきており、実環境と物理的・心理的に異なるドライビングシミュレータを利用する意義が問われ始めている。

本研究では、走行環境の統制力や環境の再現性といった、実環境では調整が困難な条件を適用できる点で、ドライビングシミュレータの必要性に着目し、種々の提案手法の実証に利用してきている。従来は、2006年に導入した三菱プレジジョン製 DS-6000 を使用してきている。これは、自動車教習所等で多く用いられる形式のものであるが、特に本研究で適用してきた機種には、運転行動計測評価用の走行環境および運転行動計測用のソフトウェアが同梱されている。これにより本システムにおいては、ドライバが操作する機器はほぼ実車同様の車内機器構成（ステアリング、シフトレバー、アクセル・ブレーキペダル等）を有しており、実験設定によりほぼ実環境と同等の計測が可能となっている。

一方で、走行環境ソフトウェアは、既存の環境のみ適用可能なため、交通環境が常に一定でありパターン化しやすい点、走行経路が固定である点等のデメリットがある。同様に、交通環境内を走行する他車両の挙動も画一的であるため、他車両挙動に起因する、運転時の認知・判断、運転行動意図の変化などが生じにくい。

そこで、新たなドライビングシミュレータとして、以下に示すソフトウェアを導入するとともに、その運転操作環境を構築した。また、新たに構築したシステム上において、ドライバの運転行動意図の計測・推定実験を実施し、走行環境の設計・制御によるドライバ挙動の統制可能性を検証した。

2) システム構成

本研究において新たに導入したソフトウェアとしては、FORUM8社のUC-win/Road DrivingSimパッケージを選定した。同製品は、都市計画・景観シミュレータを骨格とする製品群で、建築・建造

物および道路構造物の 3D モデリング性能が高い。今回の導入にあたっては、これにドライビングシミュレータを実現する外部機器（ステアリング、ペダル等）インターフェースを有するパッケージを選択し、ネットワークライセンス 5 ライセンスを導入した。同パッケージには、走行シミュレーション機能のほか、走行時の音環境の再現機能、走行環境中の歩行者や車両の交通制御機能、燃費計算等のエコドライブ機能があり、現在もバージョンアップにより多くの機能が追加されつつある。

ソフトウェアとしての単体では、都市や道路のモデルを作成することが可能であり、図 4-2-1 に示すように、ステアリングやペダルを有するゲームコントローラを接続することで、そのままドライビングシミュレータとして設計した都市モデル内を走行することができる。またマルチモニタ機能に対応しており、前方映像のほか、側方の映像も提示が可能である。さらに専用機材を導入することで、ステアリング操作の反力や車両傾斜・振動などの提示が可能であるが、これについては、現時点では未導入である。



図 4-2-1 新たに導入したドライビングシミュレータの概観

本システムおよびライセンスの管理システムは、Windows7 /XP 上で動作する。また、学内 LAN 等のネットワークを介してデータの相互利用が可能である。本年度は、機械工学系 章研究室内にライセンスサーバとサブネットワークルータを設置し、情報メディア基盤センターの VLAN（Virtual LAN：仮想 LAN）サービスを利用して、学内の希望者にライセンス提供できる体制とした。現時点では、建築・都市システム学系 廣島研究室にて 1 ライセンス利用いただいている。

ドライビングシミュレータ機器としての評価としては、前導入機種との比較において、以下のメリット・デメリットを確認している。まず、メリットとしては、走行環境の設計自由度が高いことが挙げられる。これにより後述する研究利用および教育・アウトリーチ活動への適用が容易となったことは研究・教育の両面において大きな効果である。一方、デメリットとしては、前導入機種の操作環境に比べて現実味（リアリティ）が低下している点と、運転時の振動や反力といった臨場感向上の要素に乏しい点が挙げられる。これらデメリットについては、今後も継続して改善方法を検討していく。

（今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 荻 智成, ELVIN TIONG CHEW LUN）

（２）新規導入システムの研究・教育への適用事例

１）運用事例１：運転行動意図分析モデル構築のための走行環境設計と評価

安全運転支援システム（以下、支援システム）の開発において、支援システムがドライバの信頼をどのように獲得するかは、ユーザビリティの観点から大きな検討課題である。本研究室ではこれまでに、支援システムからのドライバへの情報提供・操作介入時期の適切化を図る観点から、ドライバの運転行動意図の分析を行ってきた。この研究において、混合正規分布（Gaussian Mixture Models: GMM）を用いて、さまざまな意図推定モデルを構築しているが、中でも一番の問題点が、ドライバ運転行動意図の真値取得の困難さが挙げられる。事後・事前のアンケート調査により、各運転時点のドライバ運転行動意図を確認・収集することが、この一つの解決方法であるが、運転時のある一時点で感じた状況の時間的な精度とドライバの記憶に依存する再現性が問題となっている。特に時間的な精度は、時系列データとしての同一基準のもとで推定結果の妥当性を判断する上でもっとも重要かつ調整困難な点である。

このような観点から、ドライバの運転行動意図の真値に相当するデータの生成・取得を目的として、新たに導入したシミュレータにおいて走行環境の設計を試みた。ここでは、まず推定項目として、ドライバの加速・減速・定常走行・停止の４走行状態と右折・左折といった行動状態をドライバの運転行動意図とした。そして、この運転行動意図の表出を促す目的で、交通信号および周辺交通流などを設計した。この環境より得られた運転行動について、以下の環境制御のタイミングにもとづき分類し、意図推定の真値とした。

- 交通信号（青→赤） ⇒ 減速ラベルの定義

シミュレーション車両がコース中のある座標に到達すると信号が赤に変化する

- 交通信号（赤→青） ⇒ 加速ラベルの定義

信号が赤に変化してから、一定時間後に信号を青に変更する

- 周辺交通流 ⇒ 加減速ラベルの定義

目標速度を設定し、自然に「流れに合わせた運転」を行うよう指示する

また、ある速度の前走車によって、シミュレーション車両の最高速度を制限する

- 交差点 ⇒ 右左折ラベルの定義

被験者に予め説明した走行ルートにおいて、右左折する交差点に接近した時点で、モニタ上に指示を表示する

前述のドライバの運転行動意図の統制の効果を確認するために、以下の実験を実施した。

まず a～d の４人の運転免許を持つ２０代男性の被験者に、市街地を模したコースを１人あたり８回の運転を依頼した。各被験者の初回実験の前には、シミュレータの運転感覚に慣れるために、実験と同じコースを用いた練習運転を実施した。ただし、練習運転では信号や交通流の制御は行わず、走行経路とシミュレータからの右左折指示の確認を主として実施した。

上記の実験により取得したデータにもとづき、著者らの従来研究⁽⁴²⁻¹⁾にもとづき、GMM によるド

ライバの運転行動意図推定モデルを構築した。従来研究では、従来機種のドライビングシミュレータを用いており、本実験のように、ドライバの運転行動意図の変化時期を明示的に把握することができていなかった。そのため、運転行動意図推定の推定精度の算出等、定量的な評価を実施できていなかった。

一方、本実験では、交通環境の制御タイミングをドライバの運転行動意図の変化時期とすることで、統制した運転行動意図と GMM による推定結果との時系列上での一致度を計算することが可能となる。図 4-2-2 に、運転行動意図の真値と推定値との比較結果の一例を示す。上部のグラフが車両速度、ステアリング操舵角、アクセル開度の各運転行動情報であり、下段が GMM による運転行動意図推定の結果である。この結果の一致度を算出した結果、4 名の被験者平均で 83.5%の推定精度であることが確認できた。

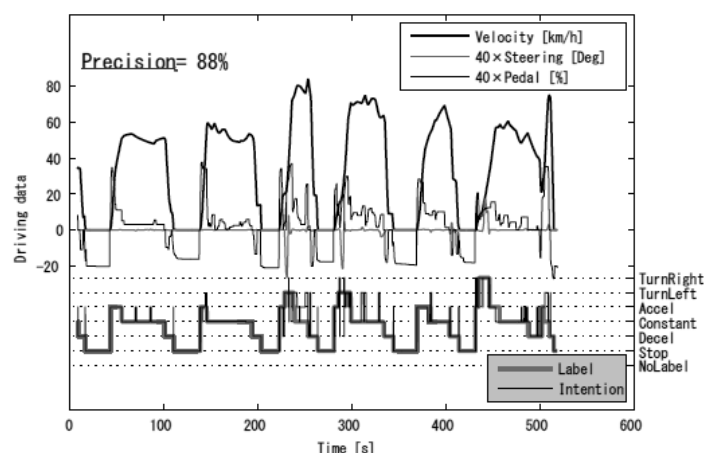


図 4-2-2 運転行動計測結果および運転行動意図の推定結果

今後は、運転行動意図の統制時期と、それに対して実際にドライバ行動が変化するまでの動特性を加味するなどして、さらなる運転行動意図の真値取得に関する検討を進め、意図推定精度の向上を図る。

(今村 孝, 章 忠, 三宅 哲夫, 荻 智成)

2) 運用事例 2：体験実習等における利用

平成 23 年 8 月に開講した、愛知県立時習館高等学校 SSH「SS 技術科学」において、「交通安全支援技術の体験 ～仮想の街を作り、走ってみよう～」と題し、受講生 10 名（時習館高校 2 年次）に対して、本システムを用いた講座を開講した。講義では、まず交通安全およびその予防技術について、最新技術の紹介と本研究室での取り組みを紹介した後、本システムを用いて、2 名 1 組となって都市環境モデルの作成を行った。その一例を図 4-2-3 に示す。2 日間、実質 9 時間の講義時間であったが、1 日目の 2 時間程度で、おおよその街並みが完成し、交通環境の整備・制御設定を施し、翌日には各自の環境をドライビングシミュレータで走行することができた。

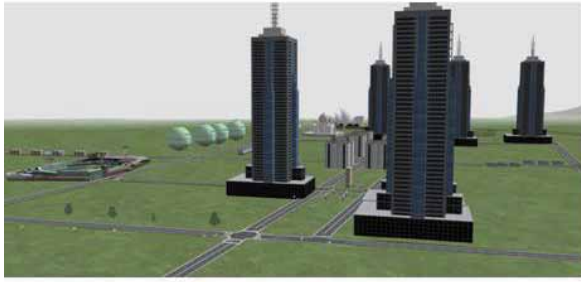


図 4-2-3 SS 技術科学講座 受講生による都市環境モデル作成の一例

受講者の理解も早かったが、比較的簡便にそれぞれの考える走行環境や街並みをコンピュータ上に実現でき、さらにそれを自動車運転の視点から環境特性を確認したり評価したりすることができ、本システムの特徴を活かして受講生の理解を深めることができた。

また、同月に豊橋市内で実施された、豊橋おいでんプロジェクトに参加した小学生に対しても、ドライビングシミュレータの体験環境を提供した。同プロジェクトは、東日本大震災により被災し、これに伴う福島原発事故の影響で屋外活動を制限された小中学生に、夏休みの活動の場を提供することを目的とした活動である。参加者は4日間の豊橋市滞在において、海水浴、工場見学等を行った。その一環として、本学 VBL (LSI 工場) や実験実習工場等を見学した際に、機械工学系の体験実習内容の一つとして、ドライビングシミュレータを設置し、運転体験を実施した。

本システムは、PC と軽量機材の組み合わせで構成したため、運搬・移設が可能である。そのため、機械工学系内に設けた体験実習会場へ本システムを移設し、小中学生の体験へ利用できた。

(今村 孝, 荻 智成, ELVIN TIONG CHEW LUN)

(3) 今後の展望

今回新たにドライビングシミュレータを導入することにより、従来研究の更なる進展に加え、これまで以上にドライビングシミュレータや運転行動計測に関する体験実習等を行えるようになった。研究面においては、更なる適用事例の増加を進め、提案手法の定量評価等に応用し、研究促進につなげたい。また、追加機材等を拡充させ、体験実習等での適用効果の向上を図りたい。さらに、学内での利用者および、本システムの適用事例を増やすことで、導入効果の向上を図りたい。

参考文献

(4-2-1) T. IMAMURA, et al, Estimation for Driver's Intentions in Straight Road Environment using Hidden Markov Models, Proc. of IEEE International Conference on System, Man and Cybernetics(SMC2010, Oct. 10-13, 2010, Istanbul, Turkey), pp.2971-2974, (2010)