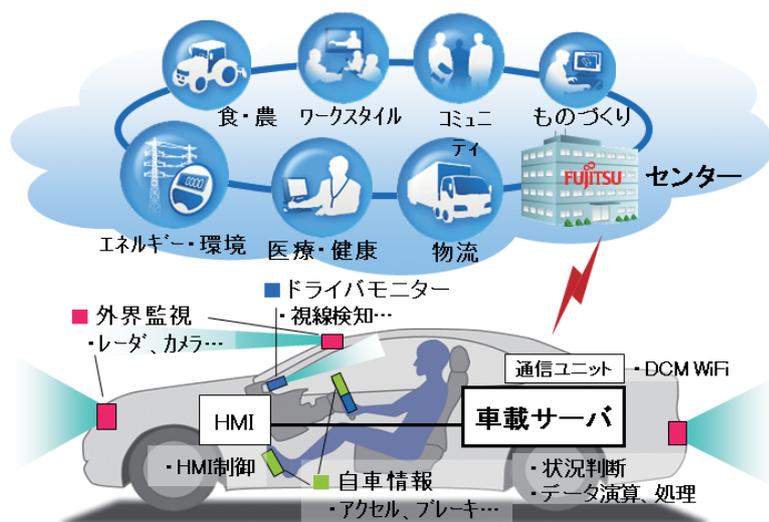


センター連携型ドライバサポートシステムの提案

Center-linked Driver Support System

杉本 尚哉 Naoya SUGIMOTO
井口 裕介 Yusuke IGUCHI
今宮 隆英 Takahide IMAMIYA



要旨

今後、自動車もインターネットを通じて社会とつながり、車内でネットワークを活用してますます多様なサービスが提供されると考えられる。しかし、運転中に無制限にサービス提供を行えば、ドライバは運転に集中できず安全運転が阻害されるため、サービスによる快適性・利便性の向上だけでなく安全性の確保も課題である。この課題に対して、我々はセンターと連携して多様な情報を活用し、運転状況に応じた最適なサービス提供を行うセンター連携型ドライバサポートシステムを提案する。本稿では、本システムで運転状況を推定するために、ドライバの負荷を推定する手法や個人適応の手法を検討し、有効性を検証した結果について述べる。

Abstract

In the future, it is expected that cars, like other things, will be connected to the society via the Internet and that various services will be increasingly provided using the network in the cabins. However, unlimited services provided to drivers during driving cars may distract them and interfere with safe driving. Therefore, in addition to improvement in comfort and convenience, the services should deliver better safety and security.

In order to solve the problem, we propose a center-linked driver support system that provides optimal services, depending on the driving situations, based on different types of information acquired by a linked center. This paper discusses the methods that the driving support system employs for estimating workload on individual drivers to estimate their driving states and for adapting the services to the states. Moreover, this paper elaborates the verified results of its effectiveness.

1

はじめに

インターネットの高度化や情報端末の急速普及を背景に、車両内でも情報に触れたいというニーズが高まり運転中に扱えるサービスが増加している。さらに今後は自動車もインターネットを通じて社会とつながるようになり、ネットワークを活用してますます多様なサービスが提供されると考えられる。

しかし、運転中の快適・利便だけを重視して無制限にサービス提供を行えば、運転に集中できず安全運転が阻害される。そのため快適・利便と安全性を両立するには、ドライバーの運転状況に応じて最適なサービス提供を行うことが必要である。

ここで運転状況に応じたサービス提供を実現するには正確な運転状況推定が求められる。そして正確な運転状況推定には、交通環境などの外界の状況、加速中など自車の状況、疲労や漫然などドライバーの状況を総合的に分析することが必要である。しかし、従来のドライバーサポートシステムでは状況を自車単独で判断しており、他車情報や天候情報などの自車で検知できない情報は分析に利用できない。さらに従来システムでは自車のリアルタイムのデータだけで分析を行っており、運転状況推定にドライバーの個人特性や他人との違いなどは考慮されない。それゆえ、従来システムでは正確に運転状況を推定することは難しい。

この課題に対して、我々は、車両とセンターが連携することにより、多様な情報を活用し蓄積データの分析が可能となる「センター連携型ドライバーサポートシステム」を提案する。

2 センター連携型ドライバーサポートシステム

2.1 システム全体像

我々の提案するセンター連携型ドライバーサポートシステムの全体像を図1に示す。

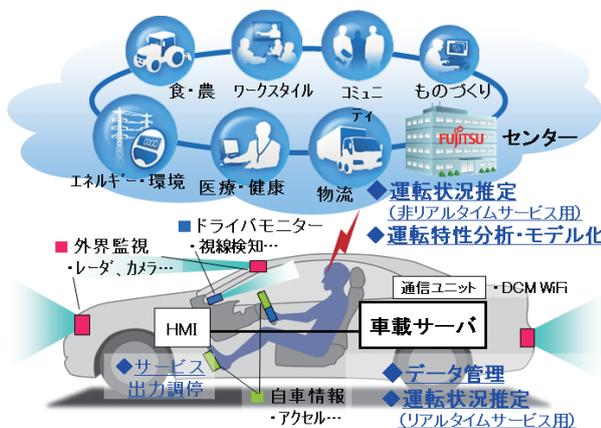


図1 センター連携型ドライバーサポートシステム
Fig.1 Center-linked Driver Support System

本システムでは、センターとの連携によって大量で多様な情報が利用できるようになり、従来システムでは取得できなかった情報も活用して運転状況が推定できるようになる。またセンターで蓄積データの統計分析や機械学習によって、運転特性などのドライバーごとの特性を考慮した分析ができるようになる。

従って、センター連携型ドライバーサポートシステムでは、外界・自車・ドライバーに関する多様な情報を用いて個人に適応した運転状況推定が可能となり、運転状況に応じたサービス提供が実現できると考える。また活用データの種類や量が増すにつれて、運転状況の分析性能が向上し、より高度なサービスが実現できると考える。

2.2 対象サービス

図2には本システムの対象サービス例を快適・利便、安全の領域に分けて示す。制御介入領域を除く幅広い領域のサービスが運転状況に応じて提供されることにより、ドライバーの快適性向上と安全性確保の両立ができると考える。

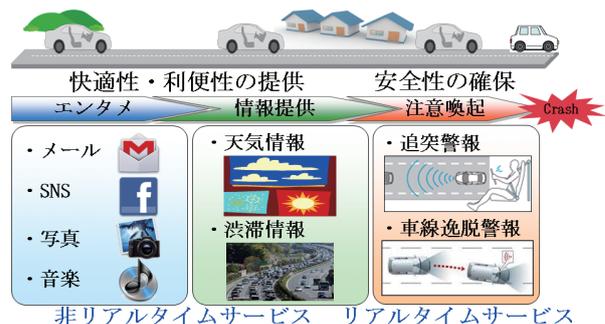


図2 提供サービス
Fig.2 Provided Services

2.3 システムアーキテクチャ

次にセンター連携型ドライバーサポートシステムのアーキテクチャを図3に示す。

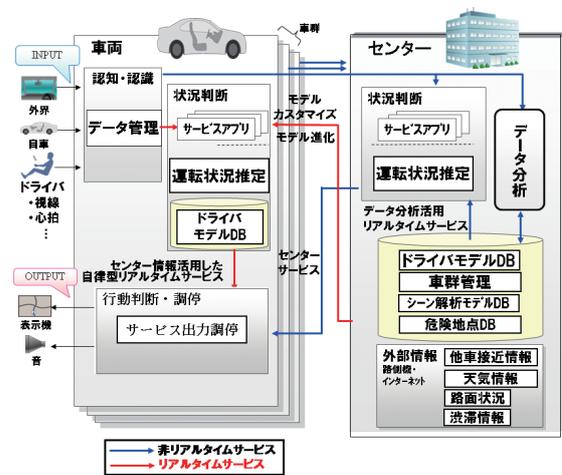


図3 システムアーキテクチャ
Fig.3 System Architecture

車載端末には、各種センサから取得したデータを管理するデータ管理機能、追突警報などの高いリアルタイム性が要求されるサービスのための運転状況推定機能、そしてドライバに最適なサービス提供をするためにHMI出力をコントロールするサービス出力調停機能を配置する。

センターには、エンターテインメントサービスなど高いリアルタイム性が要求されないサービスのための運転状況推定機能、そして蓄積データから個人の運転行動を表すモデルを構築するデータ分析機能を配置する。センターの運転状況推定機能では、自車だけでなく他車の情報やインフラ情報なども踏まえて総合的に状況を推定する。

そして、リアルタイムサービスと非リアルタイムサービスでは処理フローが異なることが本システムの特徴である。快適領域のサービスでは処理には高いリアルタイム性は要求されないが、安全領域のサービスでは、システムが危険を判断して即座に支援を行う必要があるため、高いリアルタイム性が処理に要求される。従って、センターとの通信遅延によって処理が遅れることは許されない。そこで、リアルタイム性の必要性に応じて処理フローを分けることによりサービスを遅延なく提供できるようにする。

各処理フローについて説明する。非リアルタイムサービスの処理フローは、まず車載端末のデータ管理機能で処理されたデータがセンターへ送信される。次にセンターでは、受信したデータや他車情報など様々な情報を用いて、外界・自車・ドライバの状態を考慮した運転状況を推定する。そして推定結果を車載端末に送信し、車載端末は運転状況に合わせてサービスを提供する。

一方、リアルタイムサービスの処理フローは、まずイグニッションON時にセンターで分析した個人の特性データを車載端末へダウンロードしておく。次に、走行時のリアルタイムデータと事前にダウンロードした個人の特性データを用いて、車載端末が自律でドライバの運転状況を推定し、運転状況に応じたサービス提供を行う。

また車載端末に配置するデータ管理機能も本システムの特徴である。センターで多様なサービスを容易に実現するには、車両で収集するデータを効率的なデータセットへ加工し管理する必要がある。そのため、データ管理機能として、車種ごとに異なるデータフォーマットを一律のルール（データ表現、単位など）に基づいて変換し、データフォーマットの標準化を行う。またサービスや運転状況に合わせたアップロードデータ種とサンプリングレートの動的変更や、電文形式の最適化によってトラフィックの最小化を行う。

2.4 運転状況推定のための負荷推定と個人適応

運転状況推定において、外界・自車・ドライバの状況を分析するなかで、特にドライバの状況や感覚に合うようにすることが重要と考える。理由はシステムの推定結果とドライバの状況や感覚に大きな差があると、ドライバに煩わ

しや違和感が生じてサービスが受容されないからである。

ドライバの状況や感覚に合わせるためには、運転中の負荷状態の推定が重要と考える。理由は、ドライバが注意散漫に陥らないように支援するには、ドライバが運転中のタスク・情報処理によってどれだけの負荷があるかを把握する必要があるからである。ただ、負荷が同じ場合でもドライバの運転能力や情報処理能力によって、追加でタスクや情報処理を行える余裕（＝運転余裕度）は異なり、運転余裕度が異なれば提供する支援内容も異なる。そのため、運転状況として運転余裕度も把握する必要があり、運転余裕度が適正値になるように負荷をコントロールする支援が求められる。

そこで我々は運転余裕度推定の考え方として、(1)式に運転余裕度を求める式、表1に関連する変数を定義し、運転余裕度を適正化するイメージを図4に示す。

$$\text{運転余裕度} = \text{負荷許容量} - \text{負荷} \quad (1)$$

表1 運転余裕度推定の変数

Table 1 Variable for Estimation of Degree of Driver's Margin

変数	定義
運転余裕度	追加で行えるタスクや情報処理量
負荷許容量	ドライバが処理できる情報・タスクの総量 (個人の情報処理能力、運転能力に依存)
負荷	ドライバが処理している情報・タスク量

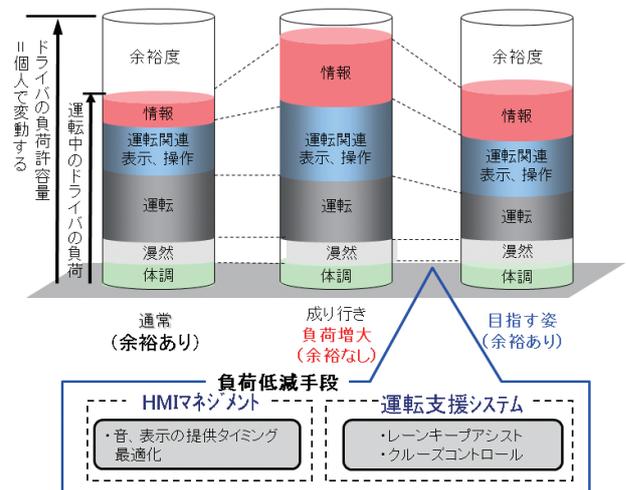


図4 運転余裕度の適正化

Fig.4 Appropriate Adjustment of Degree of Driver's Margin

運転余裕度を推定するには負荷許容量と負荷の推定が必要であり、本稿では運転余裕度適正化のためのコントロール対象である負荷について、推定手法の具体化に取り組んだ内容を3章にて述べる。

また、ドライバの特性や感覚に合うように運転状況を推定するには個人適応が必要である。そのため、本システム

では、センターにデータ分析機能を配置し、データ分析機能では蓄積データから個人特性を分析し運転行動を表すモデルを構築する。運転状況推定ではモデルの結果を用いることで個人に適応した分析を実現する。

この個人適応の実現に向けて、個人特性の分析手法やモデル構築手法などについて具体化が課題である。本稿では個人適応の手法検討として、個人の運転特性を考慮した状況推定に取り組んだ内容を4章で述べる。

3 負荷推定手法の検討

3.1 運転操作から負荷を推定する手法

負荷の推定手法として、倉橋らの先行研究¹⁾により負荷と運転操作に相関があることが判明している。具体的には負荷を定量化するツールである運転負担感受性チェックシート (WSQ)²⁾を用いて算出された4種類の負荷 (交通状況把握、道路環境把握、運転ベース阻害、制御操作の負荷) と、運転操作 (ステアリング、アクセル、ブレーキの操作回数) に相関があることが判っている。

WSQで定義された4種類の負荷については表2にまとめる。

表2 WSQの負荷定義
Table 2 WSQ Workload Definition

負荷の種類	負荷の内容・発生シーン例
交通状況把握	【内容】 ・ 周囲交通との関わりや情報取り込み複雑さによる負荷 【発生シーン例】 ・ 路上駐車が多い道での運転
道路環境把握	【内容】 ・ 車外環境 (道路、天候など) の変化、複雑さ、悪さによる負荷 【発生シーン例】 ・ 分岐などで形状が頻繁に変化する道の運転
運転ベース阻害	【内容】 ・ 自分の運転ベース阻害による負荷 【発生シーン例】 ・ 渋滞でアクセルなどを細かく操作する運転
制御操作	【内容】 ・ 運転操作の煩雑さによる負荷 【発生シーン例】 ・ 山道など細かいハンドル操作をする道の運転

我々は負荷と運転操作の相関を利用し、走行データからステアリング、アクセル、ブレーキの操作回数をカウントし係数をかけて重み付けをすることによって負荷を推定するロジックを立案した。図5に負荷推定ロジックの概要を示す。

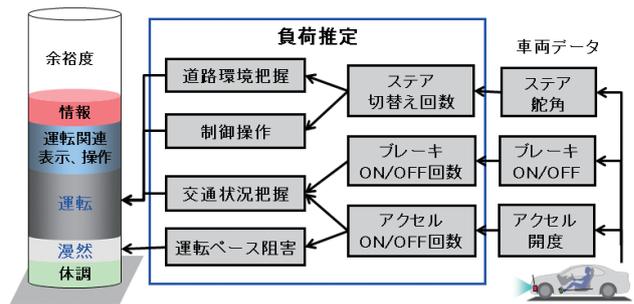


図5 負荷推定ロジック
Fig.5 Workload Estimation Logic

次に負荷推定の式について述べる。 w_1 を交通状況把握の負荷、 x 、 y 、 z をアクセル操作回数、ブレーキ操作回数、ステアリング操作回数とし、 a_1 、 b_1 、 c_1 を回帰分析で求めた各操作回数 x 、 y 、 z の w_1 への寄与係数とすると、交通状況把握の負荷 w_1 は (2) 式によって求められる。

$$w_1 = a_1 \times x + b_1 \times y + c_1 \times z \quad (2)$$

次に、 w_n に応じて1から4の整数を返す関数 $f_i(w_n)$ を定義し、(3)式によって w_1 を整数の負荷推定値 W_1 に変換する。

$$W_1 = f_1(w_1) \quad (3)$$

同様に道路環境把握の負荷を W_2 、運転ベース阻害の負荷を W_3 、制御操作の負荷を W_4 として負荷推定値を求め、ドライバの負荷 W は (4) 式に示すように W_1 から W_4 の和によって求めた。

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad (4)$$

ここで、負荷 W の取りうる範囲は4から16の整数であり、高負荷状態では $W \geq 12$ になると仮定してパラメータを設定した。

3.2 負荷推定ロジックの評価

負荷推定ロジックの性能評価を行うにあたり、まず負荷推定ロジックを実装した評価用PCを評価車両に搭載し、運転中の負荷推定が行える環境を構築した。そして、その車両を使って被験者が実路の試験コースを運転した。被験者は20代と30代の男性4名で、試験コースには運転中の負荷が高いと想定する区間 (市街地) と負荷が低いと想定する区間 (幹線道路) が含まれる。また運転中に負荷が高いと被験者が感じた場合はその時点と理由を記録した。

評価の結果、立案したロジックによる負荷推定値が得られ、被験者1名の負荷推定結果と被験者が負荷を感じた時点 (シーン①から④) を図6に示す。このとき各シーンで負荷を感じた理由と負荷推定値は表3にまとめており、負

荷が高いと感じたシーンでは負荷推定値が15、16と高い値を示した。

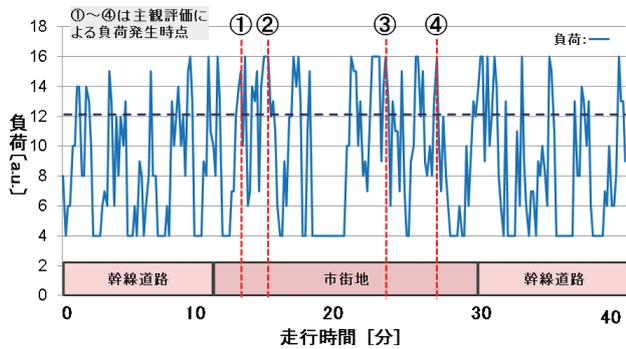


図6 立案ロジックによる負荷推定結果

Fig.6 Results of Workload Estimation Using Developed Logic

表3 負荷を感じたシーンでの負荷推定結果

Table 3 Results of Workload Estimation in Scene Giving Driver Workload

シーン	負荷を感じた理由	負荷推定値
①	・交差点通過時に隣車線の右折待ち車両と距離が近かった (交通状況把握負荷)	15(高)
②	・周辺に注意しながら路上駐車車両を避けて走行 (交通状況把握負荷)	16(高)
③	・歩行者の飛出しに気を配った運転 ・周辺に注意しながら路上駐車車両を避けて走行 (交通状況把握負荷)	16(高)
④	・車線の選択を間違え右折専用レーンに進入してしまった (道路環境把握負荷)	16(高)

(高)：高い負荷推定結果であることを示す

次に、他の被験者の場合でも同様の結果が得られるかを確かめた。確認方法として、まず図6の被験者が負荷を感じたシーンをリファレンスとして高負荷シーンを定義する。そして、他の被験者の走行の中で定義と合うシーンを抽出し、抽出シーンで負荷推定値が高い値となるかを調べた。このとき定義した高負荷シーンと負荷推定結果を表4にまとめる。

表4 高負荷シーンでの負荷推定結果

Table 4 Results of Workload Estimation in Scenes of High Workload Developed Logic

高負荷シーン	抽出シーン数	抽出シーンの負荷推定値
A. 交通量の多い道路で急に障害物が現れる (交通状況把握負荷)	3	14(高), 15(高), 16(高)
B. 左折する交差点手前の路上駐車車両を回避 (交通状況把握負荷)	3	16(高), 4, 16(高)
C. 車線選択の間違いに気づいて車線変更する (道路環境把握負荷)	1	12(高)

(高)：高い負荷推定結果であることを示す

この結果、七つの高負荷シーンのうち6シーンで高い負荷値が出力された。よって、立案した負荷推定手法は高負荷状態のときに高い負荷推定値を出力する性能があり、高負荷状態の判定に対する有効性が示唆されている。ただ、負荷が低いシーンで高負荷状態を誤検知する推定手法の課題や評価シーン数が少ないという評価方法の課題も明らかになったので、今後は負荷推定手法の性能向上と評価方法の改善に取り組んでいく。

4

個人適応の具体化検討

4.1 従来前方衝突警報の課題

個人適応の実現のために、運転行動の分析と分析結果の活用方法の具体化が必要である。そこで、我々は前方衝突警報を例に手法の具体化検討を行った。

従来の前方衝突警報では、運転特性を考慮せず警報タイミングが一律であるためドライバーによっては運転感覚に合わず違和感や煩わしさが生じる課題がある。そのため、運転特性を考慮して警報タイミングを個人適応させることにより、サービスの有効性や受容性が増すと考えた。

まず課題について分析する。衝突リスクの指標として衝突余裕時間 (TTC: Time To Collision) があり、(5)式で定義される。

$$TTC = \text{障害物の相対距離} / \text{障害物の相対速度} \quad (5)$$

ドライバーの車間距離調整の特性をTTCの分布によって表し、分布上に従来システムの警報タイミングを重ねたものを図7に示す。図7で破線の領域では、システムが運転特性を考慮できておらず、警報タイミングを運転特性に合わせる対策が必要と考える。

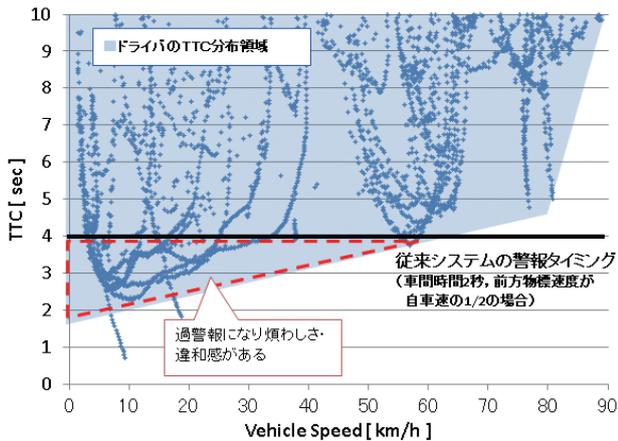


図7 運転特性を考慮しない警報タイミング

Fig.7 Alert Timing w/o Consideration of Driving Characteristics

また、TTCの確率分布を2名ドライバで比較すると、最頻値や下限値など分布形状がドライバごとに異なることが確認できた。結果を図8に示す。これは車間距離調整の運転特性がドライバごとに異なることを表しており、警報タイミングを運転特性に合わせる際には、ドライバごとに最適化が必要である。

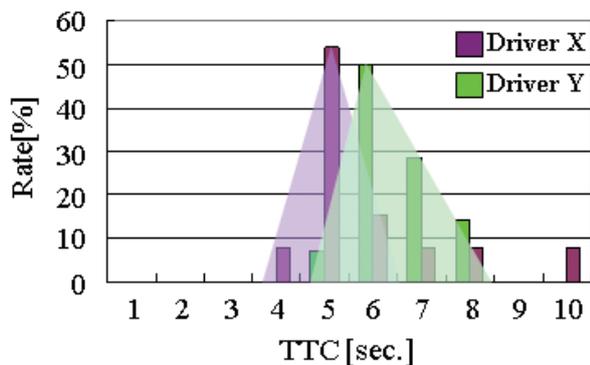


図8 TTC分布の個人差

Fig.8 Individual Variation of TTC Distribution

4.2 ドライバに最適な警報タイミング

警報タイミングを運転特性に合わせるには、TTCを用いて運転特性を分析し警報タイミングを判定する閾値を明確にする必要がある。よって、以下のように閾値設定の検討を行った。

前節のTTC分布から、ドライバはTTCがある値を下回らないように運転しており、その下限値は車速によって変わると考えられる。そこで、TTCを車速域ごとに分けて、各速度域のTTC分布において値の低い側90%の値(=x値)を算出し、x値がドライバのTTC下限値として警報タイミングを判定する閾値になると仮説を立てた。図9にこの閾値設定の考え方を示し、TTC分布が正規分布としたときの平均値を μ 、標準偏差を σ とすると、x値は(6)式で求めら

れる。

$$x = \mu - \sigma \times 1.67 \quad (6)$$

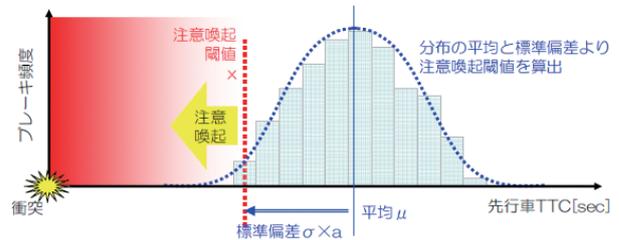


図9 TTC分布を利用した警報タイミングの閾値設定

Fig.9 Threshold Setting for Alert Timing Using TTC Distribution

さらにx値は車速に比例すると考え、回帰直線を引くことによって全車速に対する判定閾値を設定することができた。このとき車速をSpeedとすると、得られた回帰直線は(7)式である。

$$TTC = 0.071 \times Speed + 1.67 \quad (7)$$

次に、得られた閾値の妥当性を検証するため、閾値設定時とは別の走行データを用いてTTCの推移と閾値の関係を調べた。その結果、図10に示すようにドライバはTTCが閾値を下回らないように運転していることが確認できたため、設定閾値が運転特性を考慮した警報タイミングの判定に有効と考えられる。

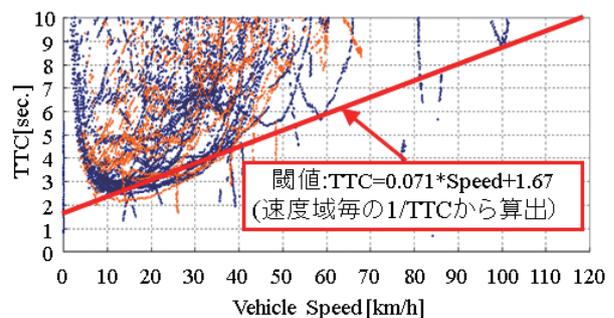


図10 運転特性を考慮した警報タイミング

Fig.10 Alert Timing with Consideration of Driving Characteristics

このようにドライバの運転特性を考慮した判定閾値を用いて、前方衝突警報を例とした個人適応手法の具体化ができた。

5

おわりに

我々は、快適性と安全性を両立するために、車両とセンサーが連携して運転状況に応じた最適なサービス提供を行うセンター連携型ドライバサポートシステムを提案し、システムアーキテクチャを示した。

また運転状況推定に負荷推定と個人適応が重要と考え、負荷推定手法として運転操作から負荷を推定する手法を立案し、高負荷状態の判定への有効性を示唆する評価結果を得た。また個人適応の具体化検討として、運転特性を考慮した判定閾値を規定することにより個人適応した警報タイミングを明確にした。

今後はセンターを通じて得られる大量で多様なビッグデータを活用することで、より精度の高い運転状況推定の実現を目指す。また、システムの要素技術開発に加えシステム全体の成立性検証も行い、早期の実用化を目指して開発に取り組んでいく。

Wi-Fiは、Wi-Fi Allianceの登録商標です。

参考文献

- 1) T. Kurahashi, M. Ishibashi, M. Akamatsu : Objective measures to assess workload for car driving, SICE 2003 Annual Conference, 270- 275 Vol.1
- 2) 石橋基範、大桑政幸、赤松幹之：運転特性把握のための運転スタイル 運転負担感受性チェックシートの開発, 自動車技術会学術講演会前刷集, 2002, pp.9-12
- 3) 西郷慎太郎, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫：先行車追従時の規範ドライバモデルに基づく個別適合型運転状態診断システムの開発, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 3, pp.721-727, 2011

筆者紹介



杉本 尚哉
(すぎもと なおや)
開発企画室



井口 裕介
(いぐち ゆうすけ)
開発企画室



今宮 隆英
(いまみや たかひで)
開発企画室
チームリーダー