

研究論文

手の近づき検知を利用した 車載情報機器の低ディストラクション操作技術の開発

高田 晋太郎^{1,a)} 松原 孝志¹ 森 直樹¹

受付日 2014年4月24日, 採録日 2014年10月15日

概要: 自動車の運転中における車載情報機器の操作は、運転操作以外への意識の振り分けや脇見を生じ、ディストラクション発生の要因となることが知られている。本研究では、ドライバがカーナビゲーションをタッチ操作するユースケースにおいて、画面への手の近づきを検知して、操作する項目の予測を行い、操作 GUI のレイアウトをタッチしやすい位置に変更することで、車載情報機器の操作にともなうディストラクション量を低減させる操作技術を提案する。提案する操作技術の原理試作を行い、ドライビングシミュレータを用いて、運転中のナビ操作にともなうディストラクション量を、視線逸脱・運転操作への影響の観点で評価した。その結果、提案手法により従来のタッチ操作に比べ、ディストラクション量を効果的に低減させることができることを確認した。

キーワード: カーナビゲーション, ディストラクション, ユーザ・インタフェース, ジェスチャ操作, ヒューマン・マシン・インタフェース

Development of Low Distraction User Interface for in Vehicle Infotainment System Using by Driver's Hand Gesture

SHINTARO TAKADA^{1,a)} TAKASHI MATSUBARA¹ NAOKI MORI¹

Received: April 24, 2014, Accepted: October 15, 2014

Abstract: Operating In Vehicle Infotainment System (IVIS) while driving causes driver distraction due to continuous glance for operating or using brain resource toward things except the driving task. In this study we aim at development of low distraction UI technology which enables a driver to operate IVIS without distraction while driving. In this paper we focused on reducing distraction generated when the driver operated car navigation menu with conventional touch panel UI. We proposed novel UI which changes menu GUI layout in case of detecting driver's hand gesture and enable to stop temporary while operating menu. In order to confirm the effect we made prototype system and executed distraction evaluation experiments using driving simulator. As a result we confirmed that the proposed method could reduce head off dangerous continuous glance and large stagger of car.

Keywords: car navigation, distraction, user interface, gesture operation, human machine interface

1. はじめに

運転中にカーナビゲーションや携帯電話などの情報機器を操作することで、本来、主に操作すべき運転操作以外の事象に意識が逸れてしまい、運転行動のパフォーマンスが低下するドライバ・ディストラクションが生じることが知られ

ている [1]。米国運輸省道路交通安全局 National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) の報告によると、2011 年に米国で警察に届けられた事故の約 17% が上述したディストラクションによって発生したものであるとされている [2]。日本や米国、欧州などではこれに対し、車載情報機器の設置位置や、画面に表示する画像や文字など提示する情報の種類や量、運転中に操作可能な機能などの項目に関してガイドラインを策定し、ディストラクションによる事故発生の防止に取り組んでいる [3], [4]。

¹ 株式会社日立製作所横浜研究所
Hitachi Ltd. Yokohama Research Laboratory, Yokohama,
Kanagawa 244-0817, Japan

a) shintaro.takada.ke@hitachi.com

自動車の車載情報機器の User Interface (UI) は、1980年代後半にナビゲーションシステムが搭載され、様々な操作が可能になり出してから、その操作 UI は急速に複雑になっていった。代表的な車載情報機器であるカーナビゲーションの操作 UI として現在、最も一般的なものはタッチパネルを用いたタッチ操作である。タッチ操作は万人に直感的に操作可能であることや、近年のタッチパネルを有したスマートホンなどの普及も相まって、非常に多く採用されている操作 UI である。一方で、ドライバが運転中にタッチ操作を行う際には、

- ・ナビ画面への注視
- ・手を伸ばすための運転姿勢の乱れ

などが発生し、ディストラクション発生要因になると考えられる。

本研究では、運転中でも安全運転を妨げずに車載情報機器を操作することが可能な低ディストラクション操作技術を確立することを目的とする。本論文では、既存のタッチパネル式カーナビゲーションにおけるタッチ操作時のディストラクション量の削減に焦点を当て、従来のタッチ操作 UI の課題について述べ、それらの課題に対する改善案として、近接センサによるドライバの手の近づき検知と、タッチ操作を組み合わせた新しい操作 UI を提案する。提案する操作 UI での操作が可能な試作を行い、ドライビングシミュレータを用いた走行実験において、従来方式と提案方式における操作 UI のディストラクション量を評価し、提案方式の有効性を確認した。

2. 先行研究

2.1 各国における車載機器 HMI ガイドライン

各国においては、安全な運転を実現するため、車載機器 Human Machine Interface (HMI) のガイドラインを策定している。日本国内では(社)日本自動車工業会 (JAMA) が、ドライバがシステムを操作する際の視線逸脱が安全性に最も影響を与える要因であるとし、視界遮断法 (Occlusion 法) における液晶シャッタの開時間 (1.5 秒の開放, 1 秒の遮断の繰返し) の積算値が 7.5 秒以内におさまる操作のみを許容すべきというガイドラインを策定している [3]。米国においては、NHTSA が JAMA と同様に視線逸脱に着目し、1 回の操作で 2 秒、合計で 12 秒以下の操作のみを許容すべきというガイドラインを策定している [4]。その一方で、UI 技術の発展にともない、視線が奪われない操作 UI (音声認識やコマンドスイッチによる手元操作など) が開発されている。このような UI においては、前方は見ているが、運転操作に必要な意識のリソースが十分に振り分けられていない「意識のわき見」が発生するとも考えられており、これについて評価の取り組みが近年では進められている [5]。

2.2 車載情報機器の操作 UI

各自動車メーカーや車載情報機器メーカー、研究機関などでは、機器操作時のディストラクションを低減させるため、様々な取り組みを行っている。

タッチパネルによる操作では、タッチするスイッチを通常のスイッチよりも大きく表示したり、1 階層内での選択肢を比較的多くし、操作回数を削減するなどの配慮が行われている [6]。

また、回転式の操作ノブなどの操作感触で操作 UI 上のカーソルの進み方を理解することができる入力装置や、機械的なフォースフィードバックシステムを組み込んだ入力装置がある。たとえば、シフトレバーの後ろのセンタコンソール部に配置されるコマンドスイッチなどがあげられる [7]。コマンドスイッチによる操作では、腕をアームレストに保持しながら操作が可能であり、メカニカルな節度感を持たせ、触感でのフィードバックを与えることで、迷わず確実に操作ができる。このような入力装置はドライビングポジションを崩さずに操作できる位置に配置し、総合的なディストラクションの低減が期待できる。

一方、音声認識による操作は、運転中の視線を前方からほぼ逸らすことなく発話による指示が可能で、画面を見ながら操作を行う UI に比べて少ないディストラクションで操作が可能である [8]。これまでは、走行環境下における認識精度の低下や、認識できる語彙数に限りがあることが課題とされていたが、近年では、クラウドサーバ上での認識処理を行うことで、計算機の処理負荷限界にとらわれない認識処理を行うことができるようになり、比較的長時間の発話内容でも高精度に認識することができ、車載情報機器の操作 UI としての期待が大きい [9]。

さらに、非接触のジェスチャ認識を車載情報機器の操作 UI として採用する製品も見られている [10]。手振り動作など、操作対象を注視する必要がないジェスチャを操作トリガとし、たとえば地図案内画面と AV 画面の切替えや、音量のアップ・ダウン、地図の拡大縮小など、比較的単純な操作を、従来と比べて少ないディストラクションで操作することが可能となる。また、操作者の手の近づきを検知して、操作メニューを表示することで、普段はナビゲーションのための地図画面を広範囲に表示し、必要なときのみ操作メニューを画面内に表示することが可能となる。

3. 本研究における課題と目標

3.1 検討対象のユースケースと前提条件

本研究で検討対象とするユースケースは、操作者が所望とする機能が格納されたメニューを選択するステップ 1 と、選択したメニューに包括される機能の一覧から、所望の機能を選択し実行するステップ 2 の 2 ステップからなる、比較的簡便な操作のユースケースを対象とした。たとえば、ナビメニューを選択し、自宅を目的地に設定する操作や、

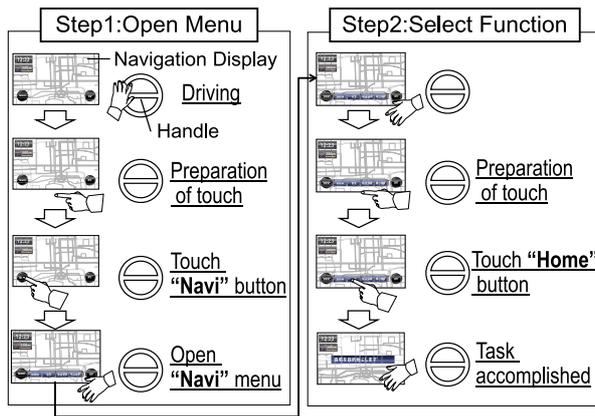


図 1 従来のタッチ操作

Fig. 1 Conventional touch operation.

AV メニューを選択し、ラジオの切替えを行う、などの操作である。カーナビゲーションで行う操作は多岐にわたるが [11]、本研究では以下の理由により、このユースケースを検討対象とした。

- ・テキストや電話番号入力などによる目的地設定などは、操作のための負荷が大きく、一般的に走行中の操作は規制されているため、操作することはできない。
- ・検討対象の操作は、比較的簡便な操作であり、走行中でも操作が可能のため、運転中の事故の要因になりやすい。
- ・メニューを選択し、所望の機能を実行する、という操作は様々な操作に適用が可能であり、研究成果の応用が図りやすい。

また、前提条件として、本研究では単体のカーナビゲーションに適用可能な操作 UI 技術の開発をめざす。具体的には、ディストラクション低減のために、カーナビゲーション本体以外のデバイスの追加が不要であり、単体のカーナビゲーションのみで操作が成り立つことである。これによって、車種や車室内の設置スペースに制限を受けることなく、カーナビゲーションの操作にともなうディストラクションの低減を実現することができる。

3.2 従来方式の課題

図 1 に、従来のカーナビゲーションシステムにおけるタッチ操作で自宅を目的地に設定する操作を行う操作フローを示す。

本操作は、以下の 2 つの操作ステップから構成される。
Step1: ナビ画面 GUI 上に表示されている 2 つのメニューボタンから「ナビ」ボタンを選んでタッチし、ナビゲーションに関連した機能項目一覧の GUI を展開する。

Step2: 展開したナビゲーション関連の機能項目一覧の中から「自宅」ボタンをタッチする。

それぞれの操作ステップで行われる操作に関して、ディストラクション発生要因について、以下のとおり机上で分析を行った。

【Preparation of touch】

- ・画面を確認する際の視線逸脱
- ・ハンドルから手を離すことによる運転操作への悪影響

【Touch “Navi” button】、【Touch “Home” button】

- ・ボタン位置を確認しタッチする際の視線逸脱
- ・手を伸ばしてタッチすることによる運転操作への悪影響

これらの分析結果から、従来のタッチ操作におけるディストラクション発生要因の課題は、以下であると考えた。

- ボタンの位置を確認するために発生する前方方向からの視線逸脱
- ボタンに手を伸ばしてタッチする際に生じる運転操作への悪影響

3.3 目標

前節で設定した課題に対して、本研究の目標を以下のよう定めた。

- 一定時間以上の連続した視線逸脱の発生を防ぐ

運転中に発生する前方方向からの視線逸脱に関して、事故に直結するものは、逸脱時間の総計よりも、一定時間以上の連続した視線逸脱が発生したかどうか、であると考えられる。これは、各ガイドラインでも Occlusion 法を基準とし、操作の可否を判断していることから類推できる。具体的な視線逸脱の基準として、NHTSA では 1 回の操作につき 2 秒以下という基準を提言している。本基準は事故発生を防ぐための最低限の基準であり、操作の際にはより短い時間の視線逸脱に収まることが望ましい。本研究では、従来方式で発生するディストラクションの低減を目的としており、より厳しい基準として、Occlusion 法で既定されているシャッター開時間である 1.5 秒以上の視線逸脱の発生を防ぐことを目標とした。

- 車両の運転操作において危険な車線逸脱を起こさない

片手を伸ばして、操作を行う際の、運転姿勢の乱れは、運転操作の制御に大きく影響を与えるものとする。本研究では、ドライビングシミュレータでの運転において、カーナビゲーション操作の際に生じる運転車両のブレが、白線をまたいで飛び出すことがないようにすることを目標とした。

4. 操作 UI の設計

4.1 既存の操作 UI 技術の適用可能性の検討

UI の設計にあたり、既存の操作 UI 技術の特徴について、整理を行い、課題に対する適用可能性について検討を行った。

まず、従来方式であるタッチ操作に関しては、前述したような課題がある一方で、所望のボタンをタッチすることで、その機能がほぼ確実に実行されるという操作の確実性が特徴の 1 つであるといえる。

コマンドスイッチやステアリングコントローラなどは、

運転姿勢を崩すことなく操作が可能一方で、項目の頻繁な切替えや、細かい階層をたどっていくことによって操作の手間と時間が増える傾向にある。また、操作デバイスを車室内に搭載する必要があるため、アームレストの有無などの車種の仕様や、シフトレバーなどのその他の操作デバイスの設置場所による制限を受けてしまう。

音声認識による操作では、視線逸脱と運転姿勢の乱れが発生しないという点では、課題をほぼ解決できると考えられるが、今後主流になるとと思われるクラウドサーバ上での音声認識処理のためにはサーバとの通信が必要であり、様々な場所に移動する運転環境においては、必ずしも通信が可能であるとは限らない。また、操作時の状況や個人の好みに応じて、音声認識以外の操作 UI が併用できることが望ましいと考えられる [12]。

ジェスチャによる操作では、視線逸脱と運転姿勢の乱れという課題に対して、有効な手段ではあるが、現実的には上下左右の手振り動作といった単純な操作のみしか認識対象にできず、今回対象とするようなユースケースには、操作の自由度が不足している。また、ジェスチャの誤認識など、操作の確実性という点でも乏しい。

以上の検討結果から、既存の操作 UI 技術を単独で用いるのでは、本研究の課題を解決することはできないと考えられる。

4.2 設計指針

課題を解決するため、検討対象のユースケースについて、各ステップにおいて求められる性質を、より詳細に検討を行った。

Step1: 所望のメニューを選択

ステップ1の操作の性質は以下である。

- ・メニューの選択肢は比較的少ない。
- ・メニューを選択したら機能選択に遷移（後戻り可）。

このステップでは、最初にメニューを選択するが、メニュー項目は比較的大きな分類でまとめられているため、選択肢は少ない（今回は2種類を想定）。また、メニューを選択したら、選択したメニューに分類される機能項目の一覧の選択画面に遷移する。この際、仮にメニュー選択の操作を誤ったとしても、機能の選択画面に遷移するだけなので、メニュー選択の画面に戻る操作は比較的しやすい。

Step2: 所望の機能を選択

ステップ2の操作の性質は以下である。

- ・機能の選択肢は比較的多い。
- ・機能を選択したらその機能が実行（後戻り不可）。

このステップでは、提示される機能の項目数は比較的多いと考えられる（今回は4種類を想定）。また、機能を選択したら、その機能が実行されることになるため、仮に機能の選択操作を誤ってしまった場合に、後戻りすることは不可能である。

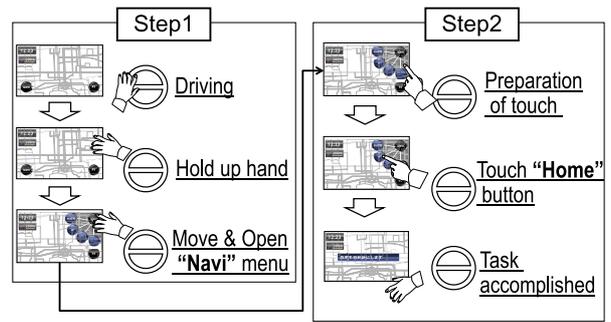


図2 提案方式1

Fig. 2 Proposed operation method 1.

以上の検討から、各操作ステップに求められる性質は、ステップによって異なるものであり、従来方式では、これに対して一律にタッチ操作を適用するものであった。そこで、本研究における UI の設計指針として、それぞれのステップに対して個別に、適していると考えられる操作 UI を適用することとした。

4.3 提案する操作 UI

まずステップ1の操作において求められる要件を、これまで述べた課題と性質を考慮して、下記のように定めた。

- ・少ない選択肢を、安全性を損なわずに選択できる。
- ・確実性はそこまで求められない（後戻りが可能）。

これらの要件を満たす操作 UI として、操作者の手の動きを検知して、メニューを選択できる方式を考案した。これは、操作者の手の近づきに応じて、メニュー項目の表示を切り替える UI を提供することで、ユーザが所望とする操作を直感的にかつ短時間で実行することが可能となるという知見をもとにして、本研究への応用を試みた [13]。また、手の近づき検知を行うためのデバイスとして、たとえば近接赤外線センサなどの、すでにカーナビゲーションにも搭載され、機構的な組み込みや車載環境での使用実績があるデバイスが使用できることも、理由としてあげられる。提案する方式の操作フローを図2に示す。

提案方式のステップ1の操作における特徴として、操作者が手をかざすと、メニューボタンが操作者側にレイアウトされる。さらに、操作者の手が近いメニューボタンを予測して、近いほうのメニューボタンに含まれる機能一覧の項目を展開し表示する。操作者は2種類のメニューを手の近づき操作のみによって、展開・選択し切り替えることが可能になる。また、手の検知と、メニューの選択・切替えがなされたタイミングを操作者に伝えるため、効果音によるフィードバック提示を行う。このような特徴を持つ操作 UI を用いることで、タッチ操作のために視線を画面に向ける必要がなく、また、手を画面まで伸ばす必要もなくなり、視線逸脱と運転姿勢の乱れを防ぐことが期待できる。

ステップ2の操作についても、求められる要件を以下のように定めた。

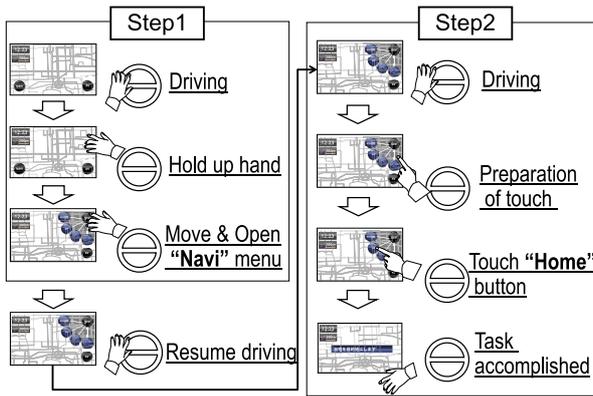


図 3 提案方式 2

Fig. 3 Proposed operation method 2.

- ・多数の選択肢を、安全を損なわずに選択できる。
- ・選択操作の確実性が求められる（後戻りが不可）。

ステップ 2 の操作 UI の特徴は、ステップ 1 で検知した操作者の手の付近に、選択されたメニューの機能一覧のボタンを大きく表示して配置する。また、最終的な機能の選択は最も確実性の高いタッチ操作で選択を行う。これらによって、ボタン位置の確認に長時間、視線を奪われることなく、またタッチする際に大きく運転姿勢を乱すことなく、タッチ操作が可能になる。さらに、最終的な機能の選択は確実性のあるタッチ操作で行うことで、誤動作による余計なディストラクションの発生を防止する。

本提案手法の特徴は、従来のジェスチャ操作である手の動きや近づきの検知にとどまらず、ステップ 2 におけるタッチ操作を行いやすくするために、ステップ 1 で検知した手の位置を利用し、その付近にメニューの機能ボタンを表示することにある。これによって、ステップ 1 とステップ 2 の組合せにより、総合的にディストラクションが低減できることを期待する。

以上で述べた提案方式を提案方式 1 とする。本方式を考案にするにあたって、参考とした研究報告 [13] に記載の技術は、デジタルサイネージなどの操作への適用を前提とした技術であり、安全な環境下で行われるデジタルサイネージの操作で求められる安全性と、運転中でのカーナビゲーションの操作に求められる安全性に関しては大きく隔たりがあると考えられる。NHTSA が提唱しているガイドラインにおいても、どんなときでも操作を中断できる UI であることが望ましい、と提言されている [4]。そこで、提案方式 1 を拡張する形で、操作の中断が可能な UI、という観点を取り入れた提案方式 2 を考案した。提案方式 2 の操作フローを図 3 に示す。

提案方式 2 は、提案方式 1 が有する特徴に加えて、ステップ 1 までの操作状態を操作者が手を遠ざけても一定時間の間、保持し続けることが特徴である。このように UI を設計することで、操作者が操作の途中でいつでも運転

表 1 従来方式と各提案方式の特徴

Table 1 Features of conventional and proposed methods.

Method	Operation		
	Step1	Resume driving	Step2
Conventional	Search and touch menu button	(○)	Search and touch function button
Proposed 1	Hold up hand	×	Search and touch function button (easily & safety)
Proposed 2	Hold up hand	○	Search and touch function button (easily & safety)

行動に戻れるようになり、より多くのディストラクション低減の効果を期待する。

表 1 に従来方式と提案方式 1, 2 の各操作ステップにおける操作の特徴を示す。

5. ディストラクション量の評価実験

5.1 試作

提案方式の効果を確認するため、試作を行った。図 4 に本試作のハードウェア構成を示す。カーナビゲーションを模擬するため、10inch のタッチパネル式モニタを使用した。ドライバの手の近づきを検知するために、近接赤外線センサを図のようにタッチパネルの右辺に設置した。センサ値は専用のセンサボードから PC へと出力される。また、カーナビゲーションの案内音や操作の効果音を出力するため、外部出力用のスピーカを接続した。画面に出力する GUI や、各種操作に対する処理は PC 内のソフトウェアが処理を行う。

赤外線センサを用いたドライバの手の位置の認識について、図 5 にアルゴリズムを示す。画面の右辺に設置した 4 個のセンサは画面に対して、垂直方向に存在する物体の距離に応じてセンサ値が変動する。センサ 1 と 2 の値が大きくなった場合は、ナビボタンを押す動作と見なし、ナビメニューを展開する (a)。一方、センサ 3 と 4 の値が大きい場合は、もう一方のメニューボタンである AV ボタンを押す動作と見なし、AV メニューを展開する (b)。また、手の近づきとメニューの選択・切替えのタイミングによって、スピーカから効果音を発し、メニューが展開されたかどうかを音でも確認できるようにした。

5.2 評価条件

ディストラクション量の評価は、メインタスクである運転操作とサブタスクであるカーナビゲーション操作を同時に行う二重課題法を行い、各操作方式におけるサブタスク

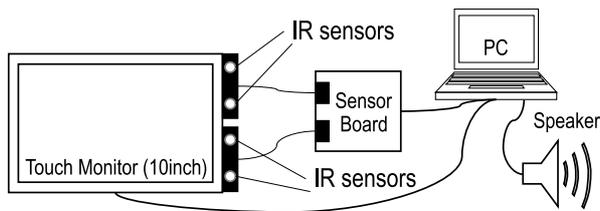


図 4 試作のハードウェア構成
Fig. 4 Hardware spec of prototype.

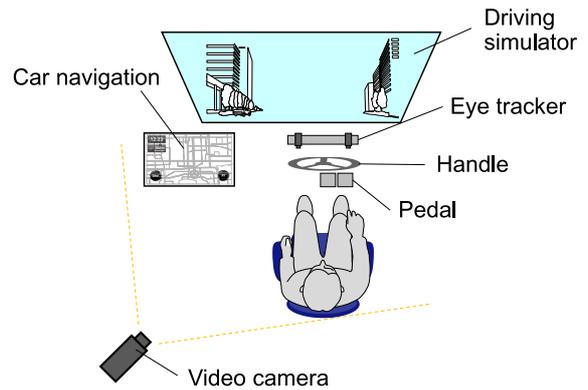


図 6 実験環境
Fig. 6 Experimental environment.

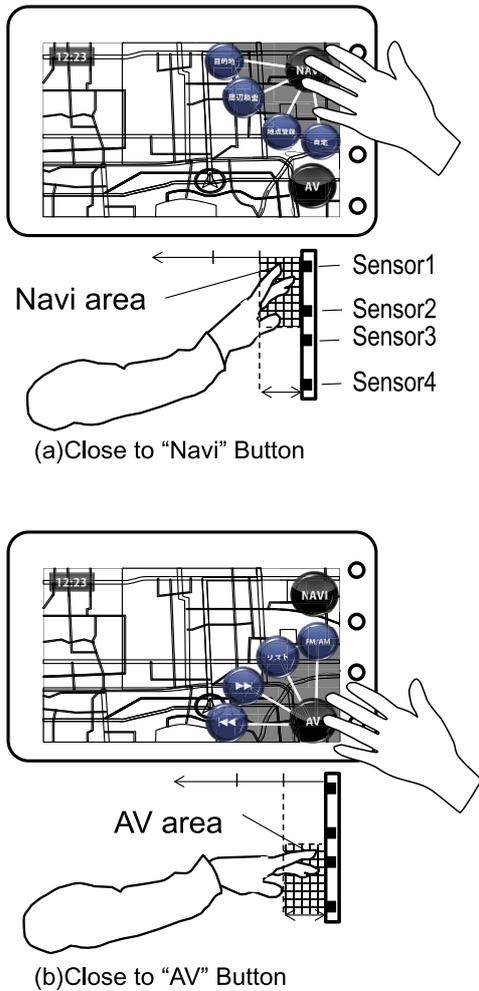


図 5 ドライバのジェスチャ認識アルゴリズム
Fig. 5 Driver's gesture recognition algorithm.

実施時のデистраクションに関する各種情報を計測して行った。

図 6 に評価実験環境を示す。メインタスクとなる運転操作は、ドライビングシミュレータによる高速道路運転を採用した。前面の大型モニタに走行画面を表示し、ハンドルとアクセル、ブレーキペダルなどを用いて運転操作を行う。サブタスクを実施する試作は、被験者の左方に設置した。被験者の顔の前方に視線検知モジュールを設置し、また、ドライバの運転操作とサブタスク操作、走行中画面が映るようにビデオカメラをドライバの左後ろに設置した。被験者には、20代から40代の運転免許を所持する6名を

選定した。

メインタスクの実施においては、被験者に対して下記の項目を教示した。

- ・速度は 80 km/h を維持するよう意識する。
- ・車線内に収まる走行を意識する。
- ・既定の直線地点において、速度と車線が定常的になった段階で、被験者が自身のタイミングでサブタスクを実施する。

サブタスクは、3章および4章において検討した2ステップからなる操作を、従来方式、提案方式1と2の計3種類の方式を用いた場合でそれぞれ実施した。評価対象である2つのステップは、メニューを選んでから機能を選択するという操作の基本要素にあたり、より複雑な操作を対象とした場合は、これらの要素を組み合わせるUIが設計されることが想定される。よって、本実験では操作の基本要素となるこの2つのステップを評価の対象とした。

サブタスクとして実施する内容は、ステップ1において2つのメニューのどちらかを選択し、ステップ2としてその下層の機能を選択するものとした。各方式におけるGUIの仕様は、3.2および4.3節に示したものを採用した。以下に、従来方式と提案方式のGUI部分での相違点を示す。

- ①ステップ1において、従来方式では、選択するメニューによってメニューボタンをタッチする位置が異なる(画面の左下と右下)。
- ②ステップ1において、提案方式では、タッチ操作がジェスチャ操作に置き換わっている。
- ③ステップ2において、提案方式では、タッチする機能ボタンのサイズが大きく、ドライバに近い。

なお、①に関して、従来方式ではタッチ位置によって、発生するデистраクションが異なる可能性がある。本実験では、従来方式が持つデистраクションの要素を総合的に評価できるように、サブタスクの内容を、ステップ1で選択するメニューボタンが被験者から近い場合と遠い場合を、同じ回数、交互に実施するように条件を設定した。サブタスクは各被験者、各方式につき、2種類のサブタスク

表 2 評価結果

Table 2 Experimental results.

Evaluation item	Method		
	Conventional	Proposed1	Proposed2
(1)-1 Percentage of glance (> 1.5 sec)	22.2 %	30.6 %	5.6 %
(1)-2 Percentage of glance (> 2.0 sec)	11.1 %	2.8 %	2.8 %
(2) Percentage of large stagger	16.7 %	2.8 %	2.8 %

をそれぞれ3回、計6回ずつ実施した。また、メインタスクの操作と各方式によるサブタスクの操作は、事前に練習を行い、それぞれの操作に十分慣れている状態とした。

ディストラクション評価のために計測した情報は以下のとおりである。

- (1) 1.5秒以上および2秒以上の連続した視線逸脱（正面方向以外の注視）の発生回数
- (2) 運転車両の白線をまたいだはみ出しの発生回数

(1) に関しては、視線検知モジュールを用いてドライバの視線を追跡し、視線逸脱発生の時間を計測した。本実験では、Occlusion法のシャット開時間の1.5秒以上および、NHTSAが既定する2秒以上の2通りの基準での発生回数を計測した。(2)ではサブタスク実施時の運転車両の道路上の白線からのみ出し度合いを、目視で確認して計測を行った。なお、視線逸脱および車線逸脱の発生回数については、各方式において、6回のサブタスク試行のうち、各種逸脱が発生した試行の数をカウントした。

5.3 評価結果

表2に本実験の評価結果を示す。それぞれの方式および、各種逸脱の結果において、分母は全被験者における総サブタスク試行回数(6名×6回)であり、分子はそのうち逸脱が発生した試行回数とし、その割合を示したものである。

(1) 視線逸脱

視線逸脱は、1.5秒以上および2秒以上の連続した視線逸脱の発生回数の割合を求めた結果である。1.5秒以上の基準においては、従来方式では22.2%発生していたのに対して、提案方式1では30.6%、提案方式2では5.6%であった。提案方式1のUIは、ステップ1とステップ2を続けて行う必要があり、操作を完了するためには、連続した視線逸脱が発生してしまうことが本結果に現れている。一方で、提案方式2では、ステップ1の操作とステップ2の操作の間で、運転行動に戻ることが可能なため、連続した視線逸脱の発生が効果的に抑えられている。このことから、提案方式2のUIの特徴である、操作過程を保持する設計は、連続した視線逸脱の発生の低減に対して、効果的で

表 3 視線逸脱の発生回数 > 1.5 sec (> 2.0 sec)

Table 3 The number of times of glance > 1.5 sec (> 2.0 sec).

Subject		Method		
		Conventional	Proposed1	Proposed2
Group 1	A	1 (0)	2 (1)	0 (0)
	B	4 (3)	5 (0)	0 (0)
	C	1 (1)	0 (0)	1 (1)
Group 2	D	1 (0)	0 (0)	0 (0)
	E	1 (0)	2 (0)	1 (0)
	F	0 (0)	2 (0)	0 (0)
Total glance times/ Total test times		8 (4) / 36	11 (1) / 36	2 (1) / 36

あることが確認された。2秒以上の基準においては、従来方式では11.1%発生していたのに対して、提案方式1では2.8%、提案方式2では2.8%であった。この基準では、提案方式1の場合でも従来方式に対する改善が確認できた。

表3に視線逸脱の発生回数を被験者ごとにまとめたものを示す。被験者の分類は、普段あまり運転をしないGroup1(月に1回以下)、普段から運転を行っているGroup2(月に4回以上：ただし、非職業ドライバ)の2つに分類される。従来方式に関しては、被験者Fを除くすべての被験者において視線逸脱が発生している。特に、普段運転を行わない被験者Bは、多くの視線逸脱が発生している。これは、運転をしながらのタッチ操作自体にあまり慣れていないためと考えられる。また、サブタスクの内容の違い(メニューボタンのタッチ位置の違い)による視線逸脱の発生傾向を調べた結果、ほぼ同等の数で発生しており、有意な差は見られなかった。このことから、タッチ位置の違いが視線逸脱に与える影響は少ないと考えられる。提案方式1においても、グループに関係なく、視線逸脱の発生が見られる。普段から運転を行っているGroup2の2名においても、視線逸脱が発生しているのは、普段から操作しなれていない操作UIであることと、操作の途中で運転行動に戻ることができないことが影響していると考えられる。提案方式2に関しては、ほとんどの被験者で視線逸脱の発生が抑えられていることが分かる。このことから、提案方式2は運転頻度にかかわらず、視線逸脱の改善効果が期待できるといえる。

(2) 車線逸脱

運転車両の車線逸脱に関しては、実験全体を通して、従来方式では16.7%発生していたのに対して、提案方式1と2ではどちらの場合も、2.8%の発生にとどまった。表4に車線逸脱の発生回数を被験者ごとにまとめたものを示す。被験者の分類および記号の対応は、表3のものと同様である。この結果からは、車線逸脱が発生している従来方式において、被験者および被験者の運転頻度の違いによる特異的な特徴は見られなかった。また、従来方式におけるサ

表 4 車線逸脱の発生回数

Table 4 The number of times of large stagger.

Subject		Method		
		Conventional	Proposed1	Proposed2
Group 1	A	2	1	0
	B	1	0	0
	C	1	0	0
Group 2	D	1	0	0
	E	1	0	1
	F	0	0	0
Total stagger times / Total test times		6 / 36	1 / 36	1 / 36

ブタスクの内容の違いによる車線逸脱の発生傾向についても、視線逸脱の場合と同様に有意な差は見られなかった。このことから、タッチ位置の違いは車線逸脱にも影響を及ぼさないと考えられる。

これらの結果から、従来方式のタッチ操作に対して、提案方式の特徴であるステップ1のジェスチャによる選択操作と、ステップ2におけるタッチ操作を行いやすいGUIの組合せが、車線逸脱の防止に効果的であるといえる。特に、タッチ位置以外の従来方式と提案方式のGUIの相違点である、ステップ1におけるタッチ操作がジェスチャ操作に置き換わったことと、ステップ2におけるタッチボタンを大きく表示したことが、走行中における操作の負荷低減につながり、車線逸脱防止の効果が大きいと考えられる。

以上の評価結果から、提案方式2の操作UIを用いることで、サブタスクの実施にともなう視線逸脱の発生と、運転操作への悪影響の両方の課題について、効果的に低減させることができることを確認した。

6. 考察

6.1 提案方式2による視線逸脱発生の低減効果の検証

評価実験によって、提案方式2が検討対象のユースケースにおいて、ディストラクション量を効果的に削減できることが分かった。本節では、提案方式2による連続した視線逸脱発生の削減効果の考察について述べる。

図7にサブタスクを1回実施するのにともなって発生する視線逸脱時間の総計を集計した結果を示す。

視線逸脱時間の総計では、提案方式1、従来方式、提案方式2の順で減少しているが、その差は最大で0.18秒と、大きな違いは生じていない。この結果を考慮すると、提案方式2のUIでは、操作に必要な視線の切替えを、ユーザが都合の良いタイミングで行えていると考えられる。図8に上述した考察の傾向を顕著に表す実験結果の一例を示す。

図は被験者の2種類の視線状態（前方方向と視線逸脱）の様子を時系列で示したものである。(a)提案方式1の操作においては、ステップ1とステップ2の操作を継続し

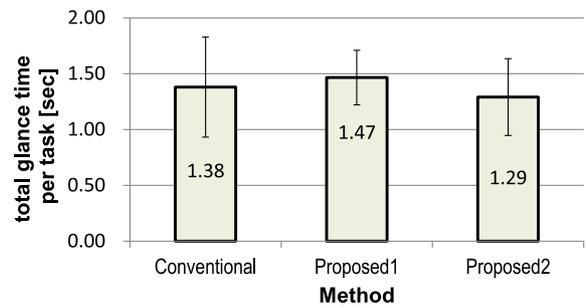
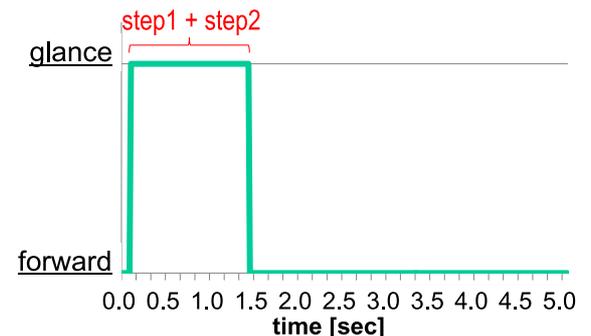
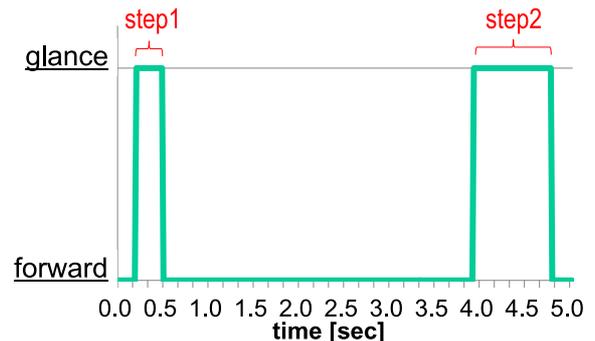


図7 サブタスク1回ごとの視線逸脱時間

Fig. 7 Total glance time per one subtask.



(a) Proposed 1



(b) Proposed 2

図8 実験における視線逸脱の発生例

Fig. 8 Example results of eye state in experiment.

て行うため、連続した視線逸脱が発生している様子が分かる。一方、(b)提案方式2の操作では、ステップ1においては、メニュー選択操作の結果を確認するなどの最低限の視線逸脱が発生しており、その後、空白期間をおいてから、ステップ2の操作のための視線逸脱が発生している。従来方式のUIにおいても、仕組み上では、ステップ間での操作を中断することは可能であるが、連続した視線逸脱は発生している。これは、従来方式では1回のステップの操作負担が大きいため、ステップ1で1度タッチするために伸ばした手をそのままに、次のステップも続けて操作しようとしているためだと考える。実験中の被験者の観察でも、従来方式において、ステップ1とステップ2を続けて操作する行動が見られた。これに対して提案方式2では、ステップ1の操作の負荷は小さく、ステップ1実施後の操作の中断と運転行動への復帰がしやすいものと考えられる。

表 5 主観評価結果 [1 (かなり支障が出た)~5 (支障が出なかった)]

Table 5 Results of subjective assessments (1: no good, 5: good).

	Method		
	Conventional	Proposed1	Proposed2
Mean score	2.8	3.8	3.9
Standard variation	0.60	0.23	0.20

これらのことから、提案方式2の特徴である運転操作にいつでも戻れる UI 設計は、連続した視線逸脱の発生を低減させるために非常に重要な要因であることが分かる。

6.2 主観評価

提案方式の有効性について、操作者に与える印象への効果を確認するため、主観評価を実施した。評価内容は各実験を終えた後に、アンケート方式でそれぞれの操作方式について点数付けをしてもらった。質問内容は「サブタスクの操作により、メインタスクに支障が出たか?」という問いに対して、[1 (かなり支障が出た)~5 (支障が出なかった)]の基準で回答をしてもらった。表5に結果を示す。従来方式では2.8のスコア、標準偏差が0.6であるのに対して、提案方式1と2では、それぞれ3.8と3.9のスコア、標準偏差がそれぞれ0.23と0.2という結果であった。この結果から、提案方式1もしくは2の操作UIを採用することで、運転操作への支障が少ない印象を与え、またそのバラつきが小さくなることが分かった。これは、表2の(1)-2の2秒以上の視線逸脱、(2)車線逸脱の結果に示されている傾向とも、提案方式1と2の操作UIにおける結果が良好という点で一致している。

6.3 今後の開発に向けた考察

ディストラクションの評価においては、ドライバーの内面の影響である意識のわき見も重要な観点である。提案方式においては、手の近づきに応じてGUIが動的に変更されるため、少なからず意識のわき見が生じていると考えられる。提案方式では、手の近づき操作に応じた音によるフィードバックの提示によって、その影響を軽減させることを期待した。また、手をかざす操作に慣れることによって、その影響はさらに軽減されるものとする。今回の評価実験では、車線逸脱が意識のわき見による影響を間接的に反映していると考えられる。5.3節の結果から、提案方式1と2の両方において、車線逸脱の発生を防止できていることから、その効果は確認できた。しかしながら、上述した操作に対するフィードバック提示や、操作の慣れが意識のわき見に対して、どのような影響を与えるかは具体化し評価を行う必要がある。今後の課題であると考えられる。

また、実際のカーナビゲーションなどのUIにおいては、

操作の内容が今回評価対象としたサブタスクの操作よりも複雑なものも存在する。その際には、たとえば提案方式のステップ1やステップ2の操作要素が繰り返し適用されることが考えられる。今回の実験においては、各ステップの操作要素単位ではディストラクション低減の効果が確認されたが、繰り返し適用することによる蓄積的なディストラクションの増加が懸念される。これに対しては、今回の評価結果の知見である、ステップの切り替わりで操作過程を保持できるよう操作UIを設計することが重要である。提案方式はタッチ操作のみの従来方式に比べ、操作者が運転行動に復帰しやすい操作UIであると考えられ、その影響を少なくすることが期待できる。また、複雑化にともなって増加する操作時間に関しては、各ガイドラインで既定されている操作に対する総視線逸脱時間の範囲内に収まるように、操作UIを設計することが重要であると考えられる。

7. まとめ

運転中の車載情報機器の操作の際に生じるドライバー・ディストラクションを低減させるため、操作時の視線逸脱の発生と運転操作への悪影響を防ぐ、低ディストラクション操作技術を開発した。カーナビゲーションでのメニュー操作をディストラクション低減の検討対象ユースケースとし、提案する操作UIが動作する試作を行い、ディストラクション量の評価実験を行った。その結果、以下の結果を得た。

(1) 手の近づきを検知してメニュー展開を行い、タッチ操作対象のGUIを、ドライバーの側に大きく表示して配置することで、カーナビゲーション操作にともなう運転操作への悪影響に関して、従来方式では車線逸脱が16.7%発生していたのに対し、提案方式では2.8%に低減させることができることを確認した。

(2) (1)における操作UIの特徴に加えて、手を遠ざけてもメニュー操作の操作過程を保持するUIとすることで、1.5秒を超える連続した視線逸脱の発生割合を従来方式の22.2%から5.6%に削減できることを確認した。

今後は、本研究で得られた知見を、操作にともなうディストラクションが少ない車載情報機器の開発へ活用することをめざしていく。その際は、適用先の製品GUIの仕様やデザイン面でのコンセプトに即して、本研究の知見を最大限発揮できる形に適用させていく必要がある。また、ドライバーの手の動きを認識するためのセンシング技術についても、低コストのセンサで、ユーザにとって違和感のない認識アルゴリズムの確立が検討課題となる。

参考文献

- [1] Regan, M.A., Lee, J.D. and Young, K.L.: *DRIVER DISTRACTION Theory Effects and Mitigation*, CRC Press (2009).

- [2] NHTSA: TRAFFIC SAFETY FACTS Distracted Driving 2011 (2013).
- [3] 日本自動車工業会：画像表示装置ガイドライン，画像表示装置の取り扱いについて，改訂第 3.0 版 (2004).
- [4] NHTSA: *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines For In-Vehicle Electronic Devices*, Department of Transportation NHTSA Docket No.NHTSA-2010-0053 (2012).
- [5] 美記陽之介：車両ヒューマンインターフェイス開発における人間工学的手法の応用の実際，日本自動車技術会シンポジウムテキスト 2009 年 8 月，No.01-09, pp.26-31 (2009).
- [6] 北崎智之，田中兼一，美記陽之介，柳島孝幸：車載 HMI の現状と展望，自動車技術会誌，Vol.64, No.10, pp.12-17 (2010).
- [7] 藤原明広，古江 彩，島田高志，松尾純太郎，石橋基範，大池太郎：ヘッズアップコックピットの開発，マツダ技報，No.31, pp.29-33 (2013).
- [8] 吉次律俊，伊藤敏行，美記陽之介，於永充浩：音声インタラクションがドライバーのメンタルワークロードに与える影響，自動車技術会論文集，Vol.35, No.1, pp.205-208 (2004).
- [9] 藤本 拓，原 隆浩，西尾章治郎：自然な発話により操作可能なカーナビゲーションシステムの開発，電子情報通信学会論文誌，Vol.J96-D, No.11, pp.2815-2824 (2013).
- [10] バイオニア：エアジェスチャー，入手先 (<http://pioneer.jp/carrozzeria/rakunavi/avic-mrp009.avic-mrp008/details/interface-design/interface/>).
- [11] Tada, M., Konno, F. and Yukawa, J.: Evaluation method for estimating workload of operating In-Vehicle system focused on brain resource, *Review of Automotive Engineering*, Vol.30, pp.417-422 (2009).
- [12] 古井貞熙，小林哲則，矢頭 隆，大淵康成，河村聡典，三木清一，庄境 誠：音声認識実用化技術の展開（総合報告），電子情報通信学会誌，Vol.93, No.8, pp.725-740 (2010).
- [13] ボンダンスティアワン，松原孝志，松本和己，徳永竜也，中島一州：テーブル型端末への 3 次元ジェスチャー操作適用，映像情報メディア学会冬季大会講演予稿集，11-11-1 (2011).



森 直樹

1991 年大阪大学工学部精密工学科卒業。1993 年同大学大学院工学研究科精密工学専攻修了。同年（株）日立製作所入社。ヒューマンマシンインタフェースに関する研究開発に従事。



高田 晋太郎（正会員）

2006 年早稲田大学理工学部電気電子情報工学科卒業。2008 年同大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年（株）日立製作所入社。以来，組み込み機器のマルチメディア処理やユーザインタフェースに関する研究開発に従事。



松原 孝志（正会員）

2002 年北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科博士前期課程修了。同年（株）日立製作所入社。ヒューマンマシンインタフェースに関する研究開発に従事。