

ウィンドシールドディスプレイ上での AR 提示が ドライバの速度感覚に与える影響の評価

東井 隼斗*¹ 亀田 能成*² 北原 格*² 大田 友一*²
筑波大学 大学院システム情報工学研究科 知能機能システム専攻*¹
筑波大学 システム情報系*²

ドライバの速度抑制を目的として、拡張現実感によりドライバの速度感覚に影響を与える新しい手法を提案し、その評価を行なう。本研究では、*Wind-Shield Display(WSD)*と呼ばれる光学シースルーディスプレイ上に、車速に応じてバーチャルパターンを描画する。運転風景とバーチャルパターンの見かけの速度が、ドライバの速度感覚に影響を与え、結果的に自発的な速度抑制を促すことを狙う。幾つかの種類のバーチャルパターンを実際の走行映像に重畳させて提示し、ドライバの速度感覚への影響を主観評価実験によって確認した。

Evaluation of Driver's Speed Sensation by Augmented Reality on Wind-Shield Display

Hayato TOUI*¹ Yoshinari KAMEDA*² Kitahara ITARU*² and Yuichi OHTA*²
Department of Intelligent interaction Technologies,
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba*¹
Information and Systems, Faculty of Engineering, University of Tsukuba*²

An evaluation report of a new method for affecting feel of speed using AR is presented so that a driver reduces one's vehicle speed. In this study, Virtual Pattern in accordance with the vehicle speed is drawn on optical see-through display called *Wind-Shield Display*. Spontaneous speed suppression by a driver is expected by controlling the appearance and the relative speed of Virtual Pattern in driver view. Several types of Virtual Patterns are tested and evaluated based on driving videos which are taken at real roads.

Keyword: Augmented Reality, Wind-Shield Display, Speed Reduction

1 はじめに

自動車の速度超過は様々な事故や危険な状況の発生要因となっている。例えば、規制速度超過による交通事故は、全事故要因で死亡事故率が最も高く[1]、超過速度と死亡事故件数は比率関係にある（表 1）。対策の一つとして、自動制御による速度抑制対策が講じられているが、ドライバーが意識せずに安全運転が行えてしまうため、漫然運転を引き起こす恐れがある[2]。

表 1. 法令違反別交通事故件数[1]

区分\法令違反別	最高速度		合計
交通事故件数	1,619		630,710
死亡事故	212	...	3,909
死亡事故率	13.09		0.62
合計に対する比	21.1		1.0

自動車のドライバーが利用する情報のおよそ 90%が視覚情報である[3]と報告されており、ドライバーが受け取る情報の大部分を占めている。近年では運転時のドライバーを視覚的に支援するために、カーナビゲーション等の車載ディスプレイが用いられている。しかし、車載ディスプレイからドライバーが情報を受け取るためには、注視領域を前方から車載ディスプレイに移す必要があるため、思わぬ事故を引き起こす恐れがある。そうした視線の移動を最小限に抑える視覚支援デバイスとして、*Wind - Shield Display(WSD)* (図 1) が挙げられる。*WSD* とは、フロントガラスにプロジェクタからの映像を投影した光学シースルーディスプレイであり、ドライバーが注視領域を前方の運転視界からそらすことなく、情報を受け取ることができる。

視覚情報を用いた速度抑制手法として、シークエンスデザイン[5] (図 2) が注目されている。シークエンスデザインとは、時間軸によって漸次的な変化が生じる路面標示であり、模様の動きによってドライバーを道路条件に応じた適切な走行速度に導くことを目的としている。シークエンスデザインの設置区間においては、走行車両の 68%で速度抑制の効果があり、平均でおよそ 4.5km/h の速度低下が確認されている[6]。しかしながら、このような道路上への施工による対策は、風化等の経年劣化による制御効果の減少の恐れがある[7]。そこで我々は、*WSD* を用い



図 1. Wind-Shield Display[4]

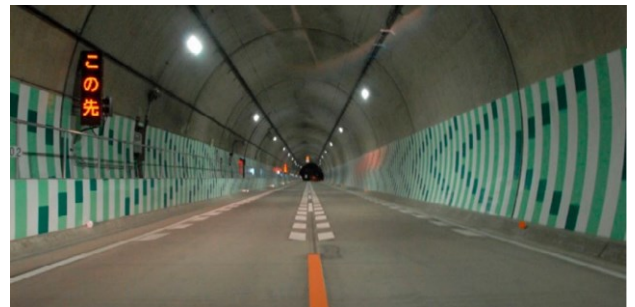


図 2. シークエンスデザイン

たバーチャルパターンによる速度抑制システムを提案する。バーチャルパターンとは、拡張現実型提示技術によって実現するシークエンスデザインである。バーチャルパターンにより、ドライバーの体感速度を変化させ、自発的な速度抑制を促す。

本研究では、バーチャルパターンを構成する個々の模様をエレメントと定義し、エレメントの集合体をバーチャルパターンと定義する。

2 関連研究

AR 技術を利用した体感速度変化に関する取り組みとして、Paihus et al. [8] は、被験者を一定の速度で移動させ、模様の速度のみを変化させることを提案している。被験者がその模様に合わせて、リズムを調整して歩くことが報告されている。また、Bruder et al. [9] は、三種類の特定模様によって人間の体感速度を変化させることに成功している。しかし、これらの研究を自動車運転に適用した場合の効果は未知数である。

我々が用いる *WSD* は運転視界に直接視覚情報を提示できるデバイスであるため、そこでの情報提示方法には注意を払う必要がある。Sato et al. [10] は運転時に必要な情報は地平線付近に多く存在し、それらを隠すと運転に支障をきたす可能性があるとして述べ

ている。本研究では、地平線付近を避けてバーチャルパターンを提示することを考える。また、道路上の車線に関して、道路構造令第五条第四項[11]によると、車線の幅員は地形の状況や、その他の特別の理由によりやむを得ない場合以外は、2.75m / 3m / 3.25m / 3.5m の4段階と定められている。そこで、バーチャルパターンを路面上に重畳提示する際には、この4段階の車線に重畳しないよう注意する。

シークエンスデザインのような繰り返される模様を見る場合、ドライバーが飽きを感じ、体感速度変化の効果減退の恐れ[12]がある。永見ら[13]は、連続的に展開が変化する模様は飽きにくく、最も飽きを感じづらいデザインは、配置と形の変化が大きいものであると述べている。しかしながら、飽きを感じづらいデザインは、違和感が強く、安全面で懸念のあるデザインでもあったと述べていることから、変化の大きさと違和感の程度の兼ね合いが重要であると予想される。また、人間の速度感に関して、David Shinar[14]は、速度感は注視点から離れた周辺視野で形成されると述べていることから、人間の体感速度変化を狙うためには、ドライバーの注視点よりも、周辺視野が重要であると言える。

そこで、本研究では、漸次的にバーチャルパターンの移動速度を変化させることによって飽きに対処する。またバーチャルパターンの提示位置を主にドライバーの周辺視野となる位置に設定することによって、人間の体感速度に変化を及ぼすことを狙う。

3 ドライバの体感速度変化を生じさせるバーチャルパターン

本研究では、ドライバーの体感速度変化によって自発的な速度抑制を狙う。

WSDを用いて、シークエンスデザイン(図2)に似せたバーチャルパターンをドライバー視界に提示する。制限速度に対する超過速度の大きさに応じて、バーチャルパターンの移動速度を、漸次的に変化させる。これにより、ドライバーの体感速度を変化させ、速度抑制を促すことを狙う。図3に示すように、本手法では、初めに提示位置を決定し、続いてバーチャルパターンの移動速度を決定する。それらの情報を元にWSD上にバーチャルパターンを提示する。

3-1 オクルージョン回避

バーチャルパターンによる速度抑制を実現するために、実世界との整合性を保障する必要がある。思わぬ事故の誘発の恐れがあるためである。バーチ

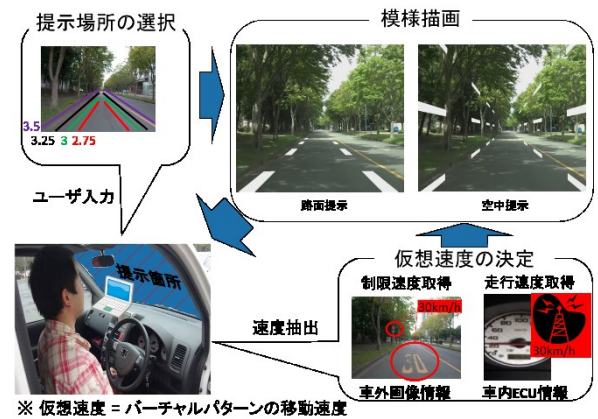


図3. システム概要

ャルパターンが自車両の走行車線を覆い隠してしまう場合や、信号等の運転に必要な情報を隠してしまう場合を避ける必要がある。そこで、本研究では、バーチャルパターンの提示位置はSato et al. [10]の研究成果に従い、地平線近辺での提示は避けることとし、運転に必要な情報を隠さないように注意する。

このことから、バーチャルパターンの提示位置は、路面上と空中上の2種類とする。路面上の提示位置は、道路幅[11]に合わせて4種類を用意し、これについてはドライバーの指示で変更するものとする。これにより、様々な幅員で構成されている道路に関しても、車線を隠すことなくバーチャルパターンが提示可能となる。

3-2 制限速度に対する超過速度に応じたバーチャルパターンの移動速度の変化

本研究では、バーチャルパターンの移動速度(仮想速度)を変化させることによって、ドライバーの体感速度を変化させ、速度抑制を促す。バーチャルパターンの提示に必要な自車両の走行速度は車両のエンジンコントロールユニットから取得する。走行中の道路の制限速度は車外から得られるものとする。

自車両の走行速度を v_R とし、道路の制限速度を v_L とする。ドライバーの体感速度を変化させる重み k は、 v_R と v_L を用いて

$$k = \begin{cases} v_R/v_L & \text{for } v_R \geq v_L \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

と表す。走行速度が制限速度を超えた場合、その超過速度の大きさに応じた重みを与えるものである。バーチャルパターンの移動速度(仮想速度)を v_V とする。これを重み k を用いて



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

図 4. 提示位置の異なる

6 種類のバーチャルパターン

$$v_V = kv_R \quad (2)$$

と表す。式(2)により、制限速度を超過した場合にバーチャルパターンの移動速度を増加させることによって、ドライバの体感速度を変化させ、速度抑制を促す。

3-3 バーチャルパターンの提示

3-1 節と 3-2 節で求めた提示位置と仮想速度に基づいて、WSD にバーチャルパターンを投影する。

バーチャルパターンの形状としては、運転に必要な情報を隠さず、かつ、ドライバに与える違和感を最小限に抑える形が望まれる。本研究では、提示位置として空中上(図 4.(a)~(c))と路面上(図 4.(d)~(e))の 2 種類用意する。また、それぞれに対して、大きさと向きを変化させた 3 種類の計 6 種類のバーチャルパターン(図 4)を用意する。それぞれの提示範囲

は、地平線近辺を含まないように設定されている。

なお、全てのバーチャルパターンに関して、エレメントの間隔は一定かつエイリアシングが発生しないように設定する。

4 ドライバの速度感覚に与える影響の評価

本節では、バーチャルパターンの有無・形状変化がドライバの体感速度に与える影響を調査する実験について報告する。

同一条件で評価できるようにするため、ドライバが見る運転風景を撮影した記録映像を、プロジェクタで大型スクリーンに映し出し、被験者が映像を評価する形式をとる。なお、バーチャルパターンの提示はドライバへの提示を本来想定しているが、撮影カメラの設置制約のため、本実験では助手席にカメラを設定して記録した。記録映像が、実際に車中から前方風景を見た時と同じ大きさになるよう図 5 に示す配置で実験を行った。

4-1 バーチャルパターンの有無による影響

バーチャルパターンを運転風景に重畳することによって、ドライバの体感速度変化が見られるかを調査するため、記録映像を用いた主観評価実験を行った。実験には、シェッフェの一対比較法[15]を用いた。シェッフェの一対比較法は、複数個の対象から 2 個ずつ取り出して比較し、最終的に全対象の相対的評価を行う方法である。

被験者は時速 30km/h で単独定速走行を行った運転風景の映像 α (図 8(a)) と、その映像にバーチャルパターンを重畳した映像 β (図 8(b)) を見た後、図 6 に示す質問について、5 段階のリッカート尺度で回答した。バーチャルパターンの移動速度は 30km/h、45km/h、60km/h の 3 種類用意した。なお、 α と β の順番はランダムに設定し、 α と β の映像の初めには、図 7 に示すような、3 秒間の視線誘導用画像を設け、映像の切り替え時にも、被験者の視線がスクリーンの中央部に留まるよう注意した。被験者は 21 ~ 27 歳の男性 10 名で、運転歴は 0 ~ 7 年である。

実験の結果を図 8(c)に示す。図 8(c)の Normal は実際の運転風景、B-30、B-45、B-60 はそれぞれ移動速度 30km/h、45km/h、60km/h のバーチャルパターンを示す。バーチャルパターンの移動速度が上がるにつれて、被験者の体感速度が上昇する傾向が見られた。しかし、シェッフェの一対比較法による分散分析の結果、本実験の p 値は 0.399 となり、バーチャルパターンの体感速度変化への影響の有効性は認めにく

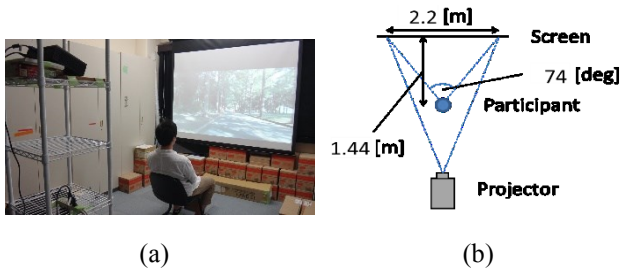


図 5. 実験時の様子
(a):実験風景 (b):被験者とスクリーンの位置関係

質問: α と β どちらのほうが, 速く感じましたか

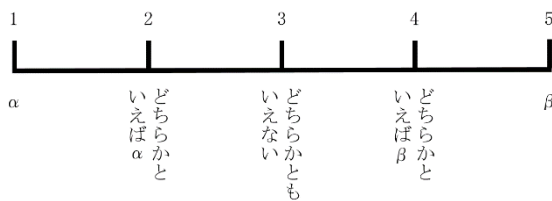


図 6. アンケート項目



図 7. 視線誘導用画像

いと言える。自由記述より、「街路樹の影響を強く感じる」という意見が複数得られており、これは、今回の記録映像中に等間隔に植えられた街路樹が多く存在したため、バーチャルパターンの影響が低下したからであると考えられる。

4-2 バーチャルパターンの種類による影響

バーチャルパターンの形状の違いがドライバの体感速度へ与える影響を評価するための主観評価実験を行った。実験は、4-1 節と同様の環境で、シェッフェの一対比較法[15]を用いて、 α と β の映像を変更して行った。 α と β にはそれぞれ時速 30km/h で単独低速走行を行った運転風景の映像に 6 種類のバーチャルパターン (図 4(a)~(f)) のいずれかを重畳した。バーチャルパターンの移動速度は 4-1 節の実験結果より、被験者が実際の運転風景より速く感じられた

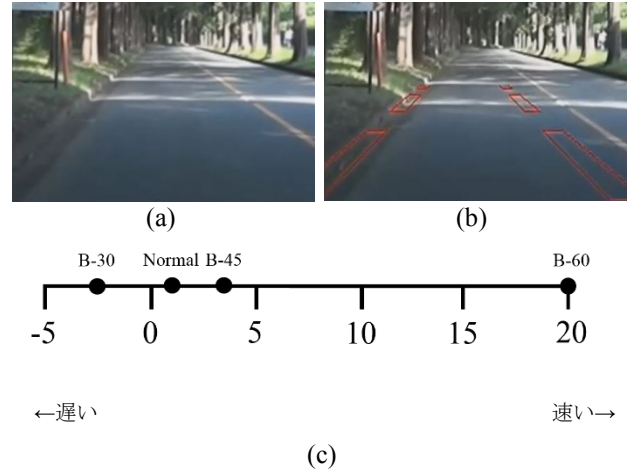


図 8. バーチャルパターンの有無による影響の実験結果
(a):運転風景 (b):バーチャルパターン重畳 (c):比較結果

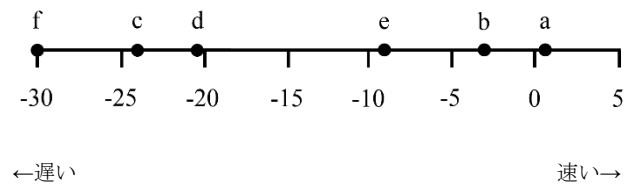


図 9. バーチャルパターンの種類による影響の実験結果

傾向がある 45km/h で固定とした。また 4-1 節の実験結果を踏まえ、運転風景は街路樹が少ない動画を使用した。被験者は、21~25歳の男性12名で、運転歴は2~6年である。

実験の結果を図 9 に示す。図 9 の a~f はそれぞれ図 4(a)~図 4(f)に対応している。シェッフェの一対比較法による分散分析の結果、本実験の p 値は 0.020 であり、有意差が見られた。全体的な傾向として、提示位置が空中上のバーチャルパターン (図 4(a)~(c)) が、同様の形状で提示位置を路面上にしたバーチャルパターン (図 4(d)~(f)) よりも被験者の体感速度を効果的に上昇させた。しかし我々は、速度感は注視点から離れた周辺視野で形成される[13]という既存の研究成果から、周辺視野に存在するバーチャルパターンの面積を増やすことが、体感速度の上昇に繋がると予想していたが、実験では、6 種類のバーチャルパターンのうち、面積が大きい図 4(c),(f) が共に体感速度変化が小さい結果となった。図 4(c),(f) について自由記述から、「圧迫感を強く感じ、危険を感じ

た」という意見が複数得られており、必ずしもバーチャルパターンが周辺視野に多く存在することが速度感を得られることに繋がるわけではないことが分かった。

5 おわりに

本研究では、*WSD* を用いてドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターンを提案した。6種類のバーチャルパターンを用意し、効果的に体感速度変化を得られるバーチャルパターンを検証した。

提案手法の実証実験を実施し、バーチャルパターンの有無による体感速度への影響と、形による違いを確認した。4-1節ではバーチャルパターンの体感速度変化への影響の有意性を示すことができなかったが、バーチャルパターンの移動速度の上昇につれ、若干の体感速度の上昇の傾向が見られ、バーチャルパターンの移動速度変化が、体感速度変化へ影響を与える可能性を示した。4-2節では、バーチャルパターンの形状の違いが、被験者の体感速度へ影響を与えることを明らかにした一方で、周辺視野への映り込みの大きさが、体感速度変化に必ずしも影響を与えるわけではないことを明らかにした。今後は、実車環境ないし、それにより近い環境で実験を行い、バーチャルパターンの有効性を確認していきたい。

参考文献

- [1] 共生社会政策交通安全対策，“交通事故の現状等”，最高速度違反による交通事故対策検討会議事次第，資料4，第2章，pp.9-25，2010.
- [2] Fondation VINCI Autoroutes，“Le régulateur et le limiteur de vitesse ont un impact sur la vigilance des conducteurs”，Communiqué de Press，2013.
- [3] Hartman Erwin，“Driver vision requirements”，Society of Automotive Engineers，pp.629-630，1970.
- [4] 川俣貴也，北原格，亀田能成，大田友一，“ウィンドシールドディスプレイを用いた道路鏡像の空中提示”，第4回デジタルコンテンツシンポジウム，CD-ROM publication，6pages，2008.
- [5] 韓亜由美，小野晋太郎，佐々木正人，須田義大，池内克史，玉木真，大貫正明，小島朋己，錦戸綾子，“視知覚情報にもとづく道路シークエンスデザインによる走行制御効果の検証”，生産研究，Vol.63，No.2，pp.247-252，2011.
- [6] 足立達郎，藤井康男，玉川大，岩里泰幸，山田幸一郎，中村裕樹，“シークエンスデザインを用いた速度抑制対策の効果とその実験的検証”，土木学会論文集 D，Vol.66，No.1，pp.27-39，2010.
- [7] 韓亜由美，玉木真，小野晋太郎，佐々木正人，須田義大，池内克史，“高速道路におけるシークエンスデザイン‘オプティカルドット’による走行制御効果の長期検証”，生産研究，Vol.64，No.2，pp.297-302，2012.
- [8] Jean Pailhous，Anne-Marie Fernandez，Michelangelo Fluckigerm，and Bernard Bamberger，“Unintentional modulations of human gait by optical flow”，Behavioural Brain Research，Vol.38，pp.275-281，1990.
- [9] Gerd Bruder，Phil Wieland，Benjamin Bolte，Markus Lappe，Frank Steinicke，“Going With the Flow: Modifying Self-Motion Perception with Computer-Mediated Optic Flow”，ISMAR2013，pp.67-74，2013.
- [10] Akihiko Sato，Yoshinari Kameda，and Yuichi. Ohta，“Adaptive Positioning on Windshield for Information Display”，12th World Congress on Intelligent Transport Systems，Custom number 3476，12pages，2005.
- [11] 国土交通省道路局，“道路構造令”，道路構造令昭和45年政令第320号，1970.
- [12] 村田盛秋，片柳澄明，角田政毅，“シークエンスデザインを用いたトンネル内の速度抑制対策とその効果検証”，建設コンサルタンツ協会近畿支部第47回研究発表会論集，一般発表論文 No.328，6pages，2014.
- [13] 永見豊，本橋直也，“反復効果に着目した道路内部景観に関する研究(1)—動的視点で見た繰り返しパターンと印象の関係—”，第55回日本デザイン学会研究発表大会概要集，Vol.55，pp.212-213，2008.
- [14] David Shinar 著(野口薫・山下昇訳)，“交通心理学入門—道路交通安全における人間要因”，サイエンス社，1987.
- [15] 君山由良，“データ分析入門(統計解説書シリーズ)”，データ分析研究所，2001.