

ドライバの体感速度変化を促すバーチャルパターン

東井 隼斗[†] 北原 格^{††a)} 亀田 能成^{††b)} 大田 友一^{†††c)}

Virtual Pattern for Affecting the Velocity Recognition of Driver

Hayato TOUI[†], Itaru KITAHARA^{††a)}, Yoshinari KAMEDA^{††b)}, and Yuichi OHTA^{†††c)}

あらまし 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する。自動車運転時に光学シースルーディスプレイが利用できることを想定し、自動車の走行速度に応じて変化が生じるバーチャルパターンをドライバ視界に重畳する。バーチャルパターンの変化により、ドライバの体感速度変化を促し、速度抑制を目指す。実車映像を用いたシミュレーション実験による評価を実施し、提案手法の有効性を検証した。また、実車環境による評価実験も実施し、提案手法の有効性を確認した。

キーワード 高度道路交通システム, 拡張現実感, ウィンドシールドディスプレイ, 速度抑制

1. まえがき

道路交通においては、様々な要因により事故が発生する。我々は、それらの事故要因のうち、重大な事故へと繋がりやすい規制速度超過運転[1]に関しての研究に取り組んでいる。

本論文では、バーチャルパターンによる視覚的な働きかけにより、ドライバの体感速度変化を促す方法を提案する。

人間の体感速度は、自己の身体感覚によって得られる情報の統合に基づいており、その中でも、特に視覚情報の重要性が高いと報告されている[2]。例えば、観察者が静止している電車の中で座っている際に、向かい側のホームの列車が動き出した時、自分の体は動いていないにも関わらず、視覚から受け取った情報により、自分の乗っている電車があたかも動いているかのように感じる事がある。この現象は視覚誘導自己運動 (Vection) と呼ばれている。

自動車の運転の際にドライバが利用する情報は、およそ 90% が視覚情報であり、ドライバが運転の際に手掛かりとする情報の大部分が視覚情報であるため、視覚情報を用いた速度抑制手法は、理にかなっていると言える。視覚情報により速度抑制を促す手法が適用された阪神高速 8 号京都線稲荷山トンネルにおける実証実験では、走行車両の半数以上で速度減退がみられ、平均でおよそ 4.5km/h の速度低下があったと報告されている[3]。

韓らは、特定の模様をドライバに提示し、体感速度を変化させることによって速度抑制を促す視覚に刺激を与えるシークエンスデザイン[4]を提案している。シークエンスデザインとは、自動車の移動速度によって、見かけの変化が生じる模様であり、模様の変化によってドライバの体感速度を変化させることにより、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。

このように路上視覚情報を用いた速度抑制手法は高い効果を持つが、それを設置した特定の道路でしか見ることができない。従って、速度抑制効果の高い視覚情報を用いて、従来以上の効果を持ち、場所を問わずに速度抑制を行うことのできる手法が望まれる。

本研究では、光学シースルーディスプレイの具現例の一つである Wind-Shield Display (WSD) [5]を用いて、速度抑制を促す模様を拡張現実感によって再現したバーチャルパターンを提示する。これにより、場所を

[†] 筑波大学大学院システム情報工学研究科, つくば市
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan

^{††} 筑波大学 計算科学研究センター, システム情報系, つくば市
Center for Computational Sciences, Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan

^{†††} 筑波大学, つくば市
University of Tsukuba, Tsukuba-shi, 305-8573 Japan

a) E-mail: kitahara@iit.tsukuba.ac.jp

b) E-mail: kameda@iit.tsukuba.ac.jp

c) E-mail: ohta@iit.tsukuba.ac.jp

問わずに速度抑制を可能とする。

バーチャルパターンは運転の際に邪魔にならないようなデザインを工夫して作成する。バーチャルパターンを提示する際の速度をコントロールすることによって、高い速度抑制効果を目指す。

2. 関連研究

拡張現実感を利用した体感速度変化に関する取り組みとして、Pailhous et al. [6]は、被験者を一定の速度で移動させる一方で、被験者に見せる模様の速度のみを変化させることにより、体感速度変化を生じさせることに成功している。被験者は、自らが一定速度で歩いていると思い込んでいたが、実際は、提示されている模様の移動速度に合わせて、リズムを調整して歩いていたことが報告されている。Riese et al. [7]は、被験者に特定の映像を見せながら、予め決められていたターゲットまで歩かせた。事前に何も映像を見せずに歩かせた際には、正確にターゲットの位置まで歩いていた被験者が、映像の速度を上げることによって、ターゲットよりも遠い位置へ、また映像の速度を下げることによって、ターゲットよりも短い位置で止まった。また、Bruder et al. [8]は、ヘッドマウントディスプレイを装着した被験者に、Computer-Mediated Optic Flow と呼ばれる3種類の視覚刺激によって体感速度を変化させることに成功している。事前に決められたターゲットまでの距離を正確に把握していたはずの被験者が、ヘッドマウントディスプレイに3種類の模様をそれぞれ投影した後、目隠しをさせてターゲットまで歩かせたところ、ターゲットまでの位置を誤って判断した。このように、拡張現実感環境において、視覚情報によって、被験者の体感速度を変化させる研究は多くなされているが、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。

道路上の構造物によって運転者の視線誘導を行い、体感速度の変化を実現する取り組みとしては[20][21]などが挙げられ、実際に社会実装まで行われている。ただし、こうした手法では道路上に構造物を設置するため、渋滞頻発区間など費用対効果の見込めるところでは有効であるが、それ以外のところでは導入は困難である。また、個別の走行車両に対応することも難しい。

拡張現実感による体感速度変化を自動車に適用するには、情報提示方法に注意を払う必要がある。バーチャルパターンはフロントガラス上に投影されるため、

それによって運転風景が隠れてしまう恐れがある。

Sato et al. [5]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。David Shinar [9]は、人間が運転の際に速度知覚の手がかりとする部分は周辺視野であると述べていることから、人間の体感速度変化を促すためには、周辺視野が重要であると言える。本研究では、ドライバの周辺視野となる位置にバーチャルパターンの提示位置を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い、バーチャルパターンを地平線付近を避けて提示することによって、オクルージョンの発生をなくす。

従来の路上視覚情報を用いた速度抑制手法で用いられているような繰り返される模様を見る場合、ドライバが模様の見かけの変化に慣れてしまうことによって、効果が減退する恐れ[10]がある。永見ら[11]によって、随時変化する模様はドライバが慣れにくく、最も慣れを感じづらい模様は、形と配置の変化が大きいものであると報告されている。一方で、変化が大きい模様は、ドライバが感じる違和感が強く、思わぬ事故を引き起こす恐れがあるとも述べていることから、本研究で提案するバーチャルパターンは本問題に対応できるようにその形状の構成に注意を払う。

ここで、我々が使用する WSD とは、自動車のフロントガラスに映像を投影する光学シースルーディスプレイであり、我々が所属する研究グループでは、プロトタイプの研究・開発が進められている[12][13][14]。WSD を用いた情報提示は、ドライバが視点を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。

3. バーチャルパターンによる体感速度変化

バーチャルパターンによる視覚的な働きかけにより、ドライバの体感速度変化を促す方法を提案する。

本節では、提案手法による車上でのバーチャルパターンの提示方法について述べ、そのあとバーチャルパターンの形状の構成方法を議論する。バーチャルパターンは自動車の移動速度に応じて、描画上の速度（仮想速度）を変えるので、その定式化についても説明する。

本稿では、バーチャルパターンのそれぞれの模様をエレメントと定義し、エレメントが集合した模様をバーチャルパターンと定義する。

3.1 車上でのバーチャルパターン提示

従来の路上視覚情報は、壁面や路面に直接描かれて

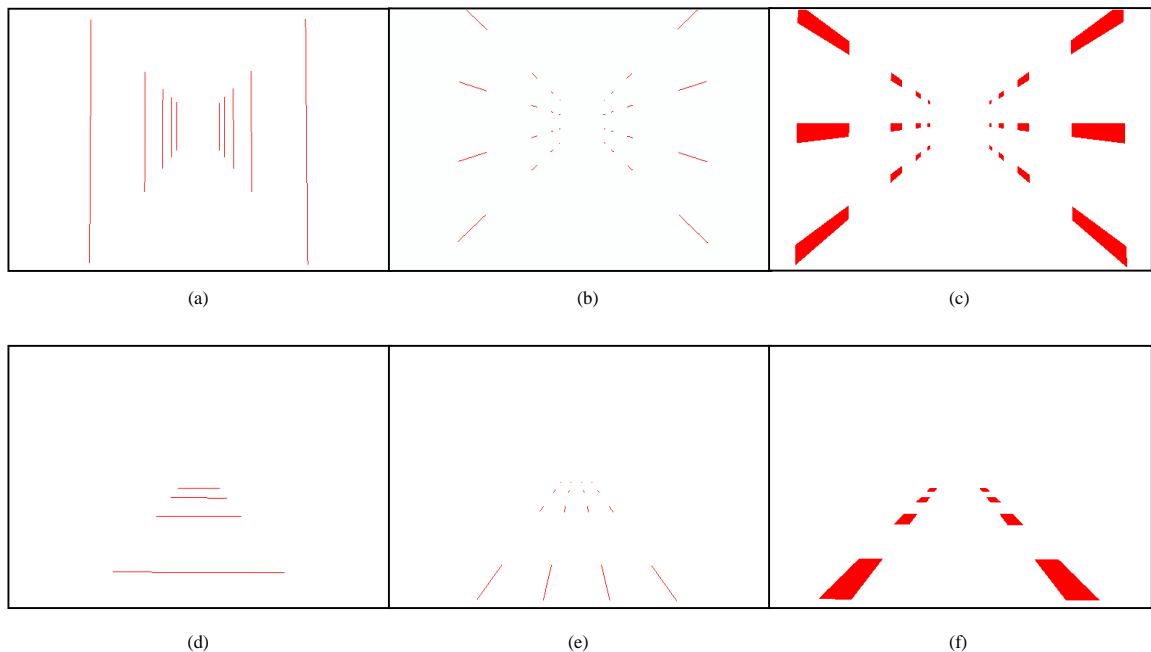


図1 6種類のバーチャルパターン

Figure 1 six virtual patterns.

いる．そこで本研究では、バーチャルパターンを車上で提示する．

バーチャルパターンは、Bluetooth 通信によって、車内 Engine Control Unit (ECU) よりリアルタイムで走行速度を取得する．ECU から速度を取得する利点として、走行環境に影響されない点が挙げられる．GPS は、走行車両の通信環境によっては、適切に機能しない恐れがあり、場所を問わずに速度抑制が可能な手法の開発にはそぐわない．そこで、本研究では ECU を利用した、Bluetooth 通信を用いた ECU による速度取得では、車外の通信環境には殆ど左右されることなく、走行速度の取得が可能である．

3.2 6種類のバーチャルパターン

本研究では、バーチャルパターンは、運転者に対して速度抑制を与えるものでありながら、運転の際の邪魔にならないものとなるように注意深く作成する必要がある．

本提案で提示するバーチャルパターンは、WSD を用いて表示することから、模様が浮いて見えるため、形状によらず運転風景中にある他の物体とすぐに区別できるという利点がある．

そのため、バーチャルパターンを単調な形状で構成す

る．単調な形状であれば、面積が少なく、物体を隠しづらいため、オクルージョンが発生しづらいと考えられる．エレメントは単調な形状の中でも、面積が最小である点による構成が望ましいが、運転風景によっては、視認が困難なため、線で構成する．なお、我々が運転時に重要であるとする情報は、道路路面標示の停止線と、交通標識といった進行方向に対して垂直に存在する情報であり、これらを隠さないようなエレメントを考えるべきである．エレメントの配置には、空中と路面の2か所が考えられる．そのそれぞれについて、見かけの速度変化が得られるような進行方向に直交する垂直形状エレメントと、進行方向に沿った流れが分かりやすい進行方向に沿った平行形状エレメントの2種類を用意した．進行方向に沿った平行形状エレメントは路上や環境中の道路に沿った線分に埋没して見える可能性があるため、その面積を増加させた平行形状エレメントも視認性向上に有効と考えてさらに用意した．ここでは、平行形状エレメントは、面積を増加させても停止線や交通標識など運転上重要な指標を隠す可能性が低いため、面積を増加させても運転への妨げになる可能性が低いと考えている．

図1に実際のバーチャルパターンを示す．(a)(b)(c)

は空中配置，(d)(e)(f)は路面配置に相当する．(a)(d)は垂直形状エレメントによるバーチャルパターンであり，進行方向に直交する線分を鉛直に取ったものが(a)，水平に取ったものが(d)である．(b)(c)(e)(f)は平行形状エレメントから成るバーチャルパターンであり，(b)と(c)，(e)と(f)はエレメントの幅が異なる以外は同じ概念に従っている．

空中（バーチャルパターン(a)~(c)）に提示されるバーチャルパターンのエレメントの最高点は1.75mとした．これは一般的な車の高さと同程度で，交通標識等を隠しづらいことが分かる．Sato et al. [5] の運転時に必要な情報は地平線付近に多く存在するという研究成果から，我々は運転に必要な情報が，道路が収束する画面中央に集約されると考え，バーチャルパターンの提示範囲は，自車両のフロントガラスから進行方向の15m先までとする．これらの設定により，バーチャルパターンは，停止線や交通標識を隠さないようにする．

同時に，このレイアウトによって，運転風景に対する運転者の視力の時空間周波数特性において，感度の高い範囲にバーチャルパターンの提示が行えることになる [17][18][19]．

なお，バーチャルパターンは離散的に提示するため，仮想速度によっては，各々のエレメントが意図した方向と逆方向に移動しているように見える恐れがあるので，防げるだけの間隔を設ける．エレメントの間隔は一定に設定し，運転風景に描画する（図2）．

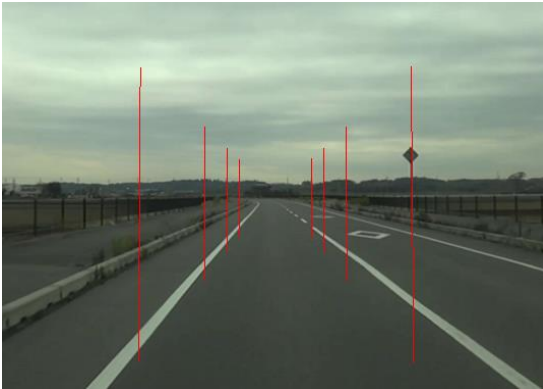


図2 バーチャルパターン提示
Figure 2 Displaying virtual pattern in real scene.

3.3 制限速度に対する超過速度に応じた仮想速度

本研究では，仮想速度を変化させることによって，体感速度変化を目指す．制限速度を超えた場合に体感速度が自車両の走行速度より速く感じるようにするた

めに，走行速度が制限速度以上のときにのみバーチャルパターンが流れる仮想速度が走行速度より速くなるようにする．自車両の走行速度は3.1節で述べたように ECU 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 v_L とする．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正の重みを与えて，体感速度変化を促す．仮想速度を v_V とし，

$$v_V = \begin{cases} v_R^2/v_L & \text{for } v_R \geq v_L \\ v_R & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

とする．制限速度を超えたときの仮想速度の立式は他にも考えられるが，本稿では利用者に対する説明として本式のような2乗項の表現であると，仮想速度が加速する方法として理解が得られやすかったため，本式の利用に至った．

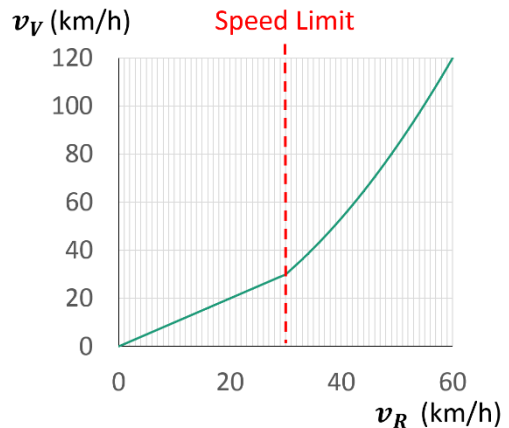


図3 バーチャルパターンの移動速度変化
Figure 3 Moving speed of virtual pattern

4. システム構成

バーチャルパターンを実現するためのシステムに関して述べる．4.1 節で，本システムで使用した機器に関して述べ，4.2 節では，バーチャルパターンの機能に関して述べる．

4.1 使用機器

バーチャルパターンを投影する WSD は，iiyama 社製の 24 インチの液晶モニター ProLite XB2485WSU を

用いた。最大画面解像度は、 1920×1200 pixel である。液晶モニターを、車両の助手席側のダッシュボード上に設置し、WSD として使用した（図 4）。ECU からの走行速度取得は、OBD2 機器である ELM327 を用いた。OBD2 とは、2010 年より一般車両に義務付けられた車両診断用の規格であり、ELM327 は OBD2 から ECU の情報を Bluetooth 通信により、転送する。情報の転送は 100ms 毎に行なわれる。車両はホンダモビリオスパイク H15 年式を使用した。バーチャルパターンの投影のため、インテル社製 2.8GHz Corei7、8GB メモリ、HD グラフィックス 3000 を搭載したコンピュータを使用した。



図 4 ウィンドシールドディスプレイ提示風景

Figure 4 WSD on a vehicle

4.2 道路幅の選択

道路上の車線に関して、道路構造令第五条第四項 [15]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、路面上にバーチャルパターンを重畳提示する際には、この 4 段階の車線幅から一つをドライバが選択する（図 5）。

5. 体感速度に与える影響の評価

本節では、バーチャルパターンの有効性を検証する実験に関して述べる

5.1 節では、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シミュレーション形式による実験について述べる。なお、本来バーチャルパターンの提示はドライバへの提示を想定しているが、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置して記録した。記録映像が、実際に車中から前方

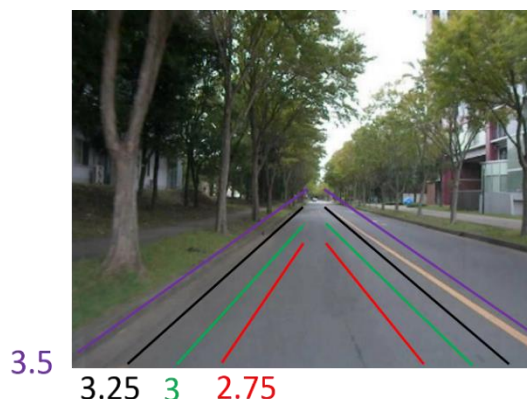


図 5 車線幅の選択

Figure 5 Selections of lane width.

風景を見た時と同じ大きさになるよう図 6、図 7 に示す配置で実験を行った。実験評価には、シェッフェの対比較法 [16] を用いた。シェッフェの対比較法は、複数のサンプルから 2 つずつ取り出して比較し、最終的に全サンプルの相対的評価を行う方法である。

5.2 節では、実車実験について述べる。安全上の観点より、バーチャルパターンは、5.1 節と同一に助手席側に投影し実験を行った。



図 6 シミュレーション実験の様子

Figure 6 Experiment using CG simulation

5.1 シミュレーション実験によるバーチャルパターンの有効性の検証

バーチャルパターンの有効性を検証するため、記録映像を用いたシミュレーション実験により、主観評価実験を行った。

5.1.1 では、バーチャルパターンの速度抑制効果が、シーケンズデザイン速度抑制効果よりも高いことを証明するため、実際に仮想速度変化を増加させることにより、体感速度が比例して増加するかどうかを確認する実験に関して述べる。

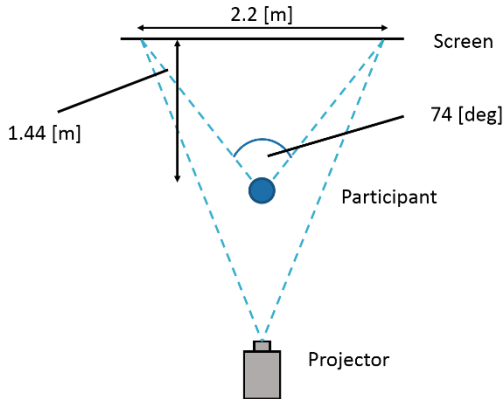


図7 シミュレーション実験の配置図

Figure 7 Layout of CG simulation experiment

5.1.2 では、体感速度変化を促しやすい形状を検証する実験に関して述べる。

5.1.1 仮想速度変化による体感速度変化の検証

仮想速度の増加により、体感速度が変化するかを検証した。

被験者は 30km/h で単独定速走行を行った運転風景の映像 α と、その映像にバーチャルパターンを重畳した映像 β を見た後、図 8 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。仮想速度は 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 の映像には、図 9 に示す 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。図 10. (c) ~ 図 12. (c) の N30 はバーチャルパターンが投影されていない運転風景を示し、V30, V45, V60 はそれぞれ仮想速度 30km/h, 45km/h, 60km/h のバーチャルパターンが投影された運転風景

質問： α と β どちらのほうが、速く感じましたか

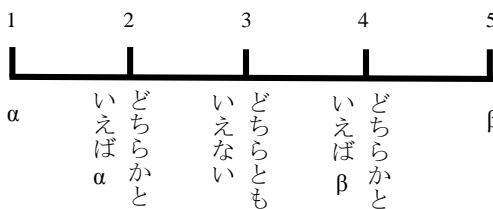


図8 5段階のリッカート尺度を用いた質問

Figure 8 Likert step description for 5 steps



図9 視線誘導用画像

Figure 9 Image for gaze guidance

を示す。

以下の 4 つの実験では、バーチャルパターンを路面提示した場合と、空中提示した場合において、そのバーチャルパターンが存在しない場合に比べて体感速度変化の効果が起きうることを示す。バーチャルパターンが見やすい運転風景ではその効果が認められる (5.1.1.1 及び 5.1.1.3 節の実験)。ただし、バーチャルパターンが見づらい運転風景になるとその効果が認められない場合がある (5.1.1.2 及び 5.1.1.4 の実験)。このことは、本提案手法が効果を有するのは、ある程度限定された運転風景に対してのみであることを示唆している。

5.1.1.1 街路樹の少ない記録映像における路面提示されたバーチャルパターンの影響の検証

空中に障害物が少ない記録映像において、路面提示されたバーチャルパターンがドライバの体感速度に与える影響を検証した。実験にはバーチャルパターン(f)を使用した。被験者は 20~26 歳の男性 12 名、女性 1 名で、運転歴は 0~6 年である。 α と β の映像を 図 10. (a),(b)に、実験結果を図 10. (c)に示す。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。なお、シェッフェの一对比較法による分散分析の結果、本実験の p 値は 0.0341 であり、有意差が認められた。

5.1.1.2 街路樹の多い記録映像における路面提示されたバーチャルパターンの影響の検証

空中に自車両の移動速度によって見かけの変化が生じる障害物が多い記録映像において、路面提示されたバーチャルパターンがドライバの体感速度に与える影響を検証した。等間隔に街灯や街路樹が植えられている道路は一般的であるが、それらの間隔は自動車の移動によって見かけ上変化する恐れがある。そうした見

かけの変化がバーチャルパターンの効果に対する影響を検証するため、5.1.1.1の記録映像を等間隔に植えられた街路樹が多い記録映像に変更した。バーチャルパターンは5.1.1.1と同一のバーチャルパターン(f)を使用した。被験者は21~27歳の男性10名で、運転歴が0~7年である。 α と β の映像を図11.(a),(b)に、実験結果を図11.(c)に示す。5.1.1.1と同様に、バーチャルパターンの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が、 p 値が0.3991となり、有意差が認められなかった。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、記録映像中に等間隔に植えられた街路樹が存在することで、バーチャルパターンの影響が低下する恐れがあることが明らかとなった。

5.1.1.3 街路樹の少ない記録映像における空中提示されたバーチャルパターンの影響の検証

空中に障害物が少ない記録映像において、空中提示されたバーチャルパターンがドライバの体感速度に与える影響を検証した。記録映像は、5.1.1.1と同一のものをを使用した。実験にはバーチャルパターン(a)を使用した。被験者は、20~26歳の男性12名と、女性1名で、運転歴が0~6年である。 α と β の映像をそれぞれ図12.(a),(b)に、実験結果を図12.(c)に示す。バーチャルパターンの速度が早くなるにつれ、被験者の体感速度が上昇しており、バーチャルパターンの形状が変化しても同様に体感速度が変化していることが分かる。しかし、バーチャルパターン(f)とは異なり、仮想速度30km/hに関しては、バーチャルパターンが投影されていない運転風景とほぼ同速度であるとの回答が多くなされており、バーチャルパターンの形状によって、体感速度変化の度合いが異なることが明らかとなった。本実験の p 値は0.0026となり、有意差が認められた。これにより、路面提示と空中提示共に、仮想速度の増加が体感速度の増加につながることが明らかになった。ドライバは、仮想速度を高くすればするほど、体感速度変化が大きくなる。

5.1.1.4 街路樹の多い記録映像における空中提示されたバーチャルパターンの影響の検証

空中に自車両の移動速度によって見かけの変化が生じる障害物が多い記録映像において、空中提示されたバーチャルパターンがドライバの体感速度に与える影響を検証した。記録映像は、5.1.1.2と同一のものをを使用した。バーチャルパターンは5.1.1.3と同一のバーチャルパターン(a)を使用した。被験者は21~27歳の男

性10名で、運転歴が0~7年である。 α と β の映像を図13.(a),(b)に、実験結果を図13.(c)に示す。バーチャルパターン(f)と同様に仮想速度の上昇につれて被験者の体感速度が上昇する傾向が見られたが、 p 値が0.4143となり、有意差が認められなかった。これにより、路面提示と空中提示共に、運転風景に存在する街

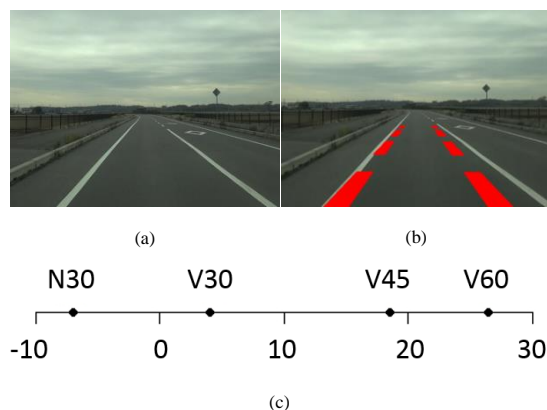


図10 街路樹がない環境でのバーチャルパターン(f)による影響

(a):運転風景 (b):バーチャルパターン重畳 (c):比較結果

Figure 10 Experiment of verifying the effect of using virtual pattern (f) on open road.

(a):Driving scene. (b):Scene with virtual pattern.

(c):Comparison result.

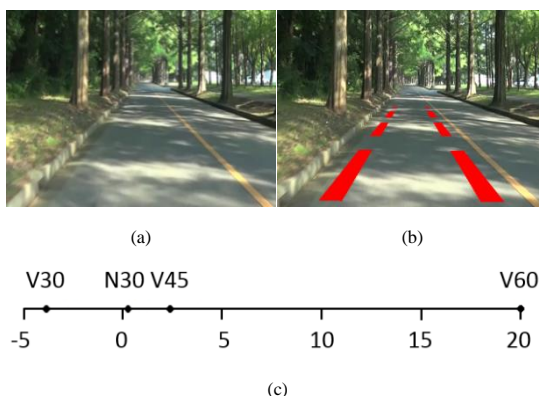


図11 街路樹がある環境でのバーチャルパターン(f)による影響

(a):運転風景 (b):バーチャルパターン重畳 (c):比較結果

Figure 11 Experiment of verifying the effect of using virtual pattern (f) on road with trees.

(a):Driving scene. (b):Scene with virtual pattern.

(c):Comparison result

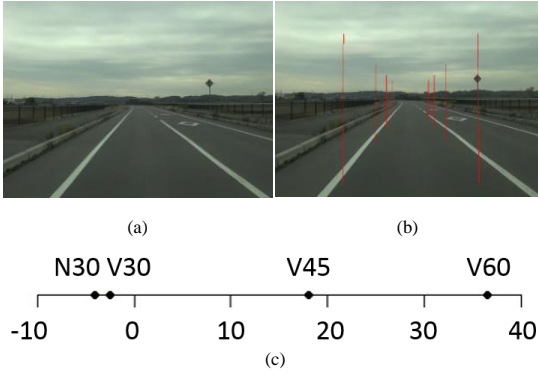


図 12 街路樹がない環境でのバーチャルパターン(a)による影響

(a):運転風景 (b):バーチャルパターン重畳 (c):比較結果
Figure 12 Experiment of verifying the effect of using virtual pattern (a) on open road.

(a):Driving scene. (b):Scene with virtual pattern.
(c):Comparison result

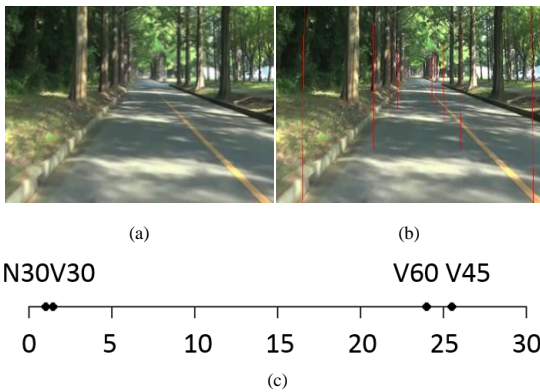


図 13 街路樹がある環境でのバーチャルパターン(a)による影響

(a):運転風景 (b):バーチャルパターン重畳 (c):比較結果
Figure 13 Experiment of verifying the effect of using virtual pattern (a) on road with trees.

(a):Driving scene. (b):Scene with virtual pattern.
(c):Comparison result

路樹等の障害物によっては、バーチャルパターンが有効に作用しない場合があることが明らかとなった。

5.1.2 体感速度変化を促しやすい形状の検証

バーチャルパターンの形状の違いが、体感速度変化に影響するかどうかを検証した。

被験者は 30km/h で単独定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 1) のいずれかを投影した映像 α と映像 β を見た後、図 8 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。

なお、 α と β の順番はランダムに設定し、 α と β の映像には、図 9 に示す 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。仮想速度は 5.1.1 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傾向がある 45km/h で固定とした。また 5.1.1.2, 5.1.1.4 の実験結果を踏まえ、街路樹が少ない記録映像のみを使用した。被験者は、20~26 歳の男性 23 名、女性 1 名で、運転歴は 0~6 年である。

実験の結果を図 14 に示す。図 14 の a~f はそれぞれバーチャルパターン(a)~(f)に対応している。シェッフェの対比較法による分散分析の結果、本実験の p 値は 0.0007 であり、有意差が認められた。全体的な傾向として、提示位置が空中に設定したバーチャルパターン(a)~(c)が、提示位置を路面に設定したバーチャルパターン(d)~(f)よりも、被験者の体感速度を効果的に上昇させた。我々は、エレメントの面積の拡張が、体感速度の上昇に繋がると予想していたが、実験では、エレメントの面積の小さいバーチャルパターン(a)が、体感速度変化が最も大きくなる結果となった。エレメントの面積を拡張したバーチャルパターン(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、エレメントの面積の拡張は体感速度変化より、違和感の増加につながるようである。

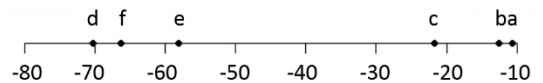


図 14 6 種類のバーチャルパターンの検証実験

Figure 14 Experiment of verifying the difference of six virtual patterns.

5.2 実車実験によるバーチャルパターンの有効性の検証

シミュレーション実験において体感速度変化に有効であったバーチャルパターンが、実車環境においても有効であることを調査するため、実車環境において主観評価実験を行った。図 15、図 16 に実車実験の様子を示す。実験は、5.1.1.2, 5.1.1.4 の実験結果を踏まえ、等間隔に植えられた街路樹が少ない道路で行い、5.1.2 の実験で、最も高い体感速度変化効果が見られたバーチャルパターン(a)を用いた。被験者は、30km/h で単独定速走行を行っている車両の助手席側から運転風景を見る。その運転風景を 30 秒間見たあとに、バー



図 15 実車実験の様子(全景)

Figure 15 Experiment on a real vehicle (overview)



図 16 実車実験の様子(助手席側視点)

Figure 16 Experiment on a real vehicle (Assistant driver's seat view)

質問①：バーチャルパターンが提示された際、普段と変わらずに走行できましたか

質問②：バーチャルパターンが提示された際、バーチャルパターンに注意が向きましたか

質問③：バーチャルパターンによって、体感速度が変化しましたか

質問④：このシステムが搭載された車を運転したいと思いますか

図 17 アンケート項目

Figure 17 Questionnaire

チャルパターンを投影した運転風景を 30 秒間見る。被験者は、この試行を 3 回繰り返す。図 17 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。走行速度は、30km/h とし、仮想速度は 45km/h とした。被験者は、22~26 歳の男性 8 名で、運転歴は 0~5 年である。また実験実施時に車外で照度を計測した結果、184lx から 2874lx であった。実験結果を表 1 に示す。

以下、質問項目毎に考察する。

質問①『バーチャルパターンが提示された際、普段と変わらずに走行できましたか』は、バーチャルパターンにより、オクルージョンの発生がなかったかどうかを調査できる質問項目である。選択肢は、1（できなかった）~5（できた）である。平均が 4.00 となっており、今回提案したエレメントを使用したバーチャルパターンは、オクルージョンの発生は見られなかったと考えられる。

質問②『バーチャルパターンが提示された際、バーチャルパターンに注意が向きましたか』は、質問①と同様に、バーチャルパターンにより、オクルージョンの発生がなかったかどうかを調査するための質問項目である。選択肢は、1（向かなかった）~5（向いた）である。平均が 4.25 となっており、質問①とは一転し、多くの被験者の注意がバーチャルパターンに向いてしまっていることが分かる。しかし、質問①では、普段通りの運転ができたと言っている被験者が多いことから、今回使用したバーチャルパターン(a)は、単調な線のみで構成されているため、バーチャルパターン越しに風景を見たとしても、普段通りに運転が行えるほど、オクルージョンが発生しづらいといえよう。

質問③『バーチャルパターンによって、体感速度が変化しましたか』は、実車環境においても、バーチャルパターンにより、体感速度変化が発生するかどうかを確認するための質問項目である。選択肢は、1（変化しなかった）~5（変化した）である。平均が 4.00 となっており、シミュレーション実験と同様にバーチャルパターンによって体感速度が変化することが明らかとなり、バーチャルパターンの体感速度変化への有効性が示せた。

質問④『本システムが搭載された車を運転したいと思いますか』は、システムニーズ調査のための質問項目である。選択肢は 1（思わない）~5（思う）である。平均は 3.63 となっており、他の質問項目に比べ、評点が低い。自由記述欄より、「普段通りの運転ができ、体感速度変化も感じるが、進んで搭載しようとは思わない」との意見が得られている。今回実験に使用した道路は、障害物のない道路であった。そのため、速度抑制を行わずとも、危機感を感じる事が少なく、このような傾向になったと考えられる。システムニーズ調査のためには、速度超過によるヒヤリハットが発生し得るシーンで実験を行う必要があると思われる。

5. むすび

本論文では、WSDを用いて、視覚情報を利用したバーチャルパターンにより視覚情報から速度抑制を行うことのできる手法を提案した。

単調な線によるオクルージョンが発生しづらい6種類のバーチャルパターンをドライバ視界に提示した。

制限速度に対する超過速度の大きさに応じて、仮想速度を漸次的に変化させることによって、体感速度変化を促せることを確認した。

シミュレーション実験と実車実験を行い、バーチャルパターンの体感速度変化への有効性を示した。シミュレーション実験により、仮想速度を変化させることによって、従来以上の速度抑制効果が期待できることを確認した。

シミュレーション実験により、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。バーチャルパターン(a)が最も被験者の体感速度を変化させたことを確認した。

実車実験でも、バーチャルパターンの体感速度変化が、認められることを明らかにした。

今後は、安全に実験を行える環境が用意できれば、運転をしているドライバに対して提示実験を行い、有効性を確認していきたいと考えている。

表1 アンケート結果
Table 1 Result of questionnaire.

	質問①	質問②	質問③	質問④
被験者①	4	4	5	4
被験者②	3	5	3	3
被験者③	4	4	4	4
被験者④	4	4	4	4
被験者⑤	3	5	4	3
被験者⑥	4	5	5	4
被験者⑦	5	4	3	3
被験者⑧	5	3	4	4
平均	4.00	4.25	4.00	3.63
標準偏差	0.760	0.700	0.760	0.520

文 献

- [1] 内閣府政策統括官（共生社会政策担当），“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中間報告書 第2章”，pp.9-25, 2010.
- [2] 畑四郎，津村俊弘，“人間の制御動作における体感情報の

効果に関する一実験的考察，”人間工学，vol.9, No.2, pp.49-57, 1973.

- [3] 足立達朗，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.2, pp.27-39, 2010.
- [4] 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.
- [5] A. Sato, Y. Kameda, Y. Ohta, “Adaptive positioning on windshield for information display,” 12th World Congress on Intelligent Transport Systems, Custom number 3476, 12pages, 2005.
- [6] J. Pailhous, A.M. Ferrandez, M. Flückiger, and B. Baumberger, “Unintentional modulations of human gait by optical flow,” Behavioural brain research, vol.38, no.3, pp.275-281, 1990.
- [7] J.J. Rieser, H.L. Pick, D.H. Ashmead, and A.E. Garing, “Calibration of human locomotion and models of perceptual-motor organization,” Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, vol.21, no.3, pp.480-297, 1995.
- [8] G. Bruder, P. Wieland, B. Bolte, M. Lappe, and F. Steinicke, “Going with the flow: Modifying self-motion perception with computer-mediated optic flow,” In Mixed and Augmented Reality 2013, pp.67-74, 2013.
- [9] D. Shinar, “交通心理学入門—道路交通安全における人間要因，”野口薫（共訳），山下昇（共訳），（社）サイエンス社，東京，1987.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 市原栄太郎，高尾広行，大田友一，“NaviView：仮想車載カメラ映像による運転者への視角支援，”信学論（D-II），Vol.J82-D-II, No.10, pp.1816-1825, 1999.
- [13] 田谷文宏，小島和浩，亀田能成，大田友一，“NaviView：見通しの悪い交差点での仮想ミラー提示による運転者への視角支援～提示タイミングと一による運転者への効果～，”第3回ITSシンポジウム2004，O1-2(6pages), 2004.
- [14] 田谷文宏，北原格，亀田能成，大田友一，“NaviView：動的環境センシングによる運転者への視角支援の取り組み，”計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会予稿集，pp.168-173, 2005.
- [15] 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.
- [16] 君山由良，“データ分析入門(統計解説書シリーズ)，”（社）データ分析研究所，札幌，2001.
- [17] D. Lamballe, M. Laakso, H. Summala, “Detection thresholds in car following situations and peripheral vision: implications for

positioning of visually demanding in-car displays”, Ergonomics, vol.42, no., pp.807-815, 1999.

- [18] 舟川政美, “ドライバの視野特性と視覚行動”, 自動車技術, Vol.58, No.12, pp. 16-21, 2004.
- [19] 赤松幹之, “運転中に何を見て,何を認知しているのか: 道路, 交通, 運転特性,そして高齢ドライバ”, 映像情報メディア学会誌, vol. 61, no.12, pp.1682-1688, 2007.
- [20] 川島祐貴, 内川恵二, 金子寛彦, 福田一帆, 山本浩司, 木屋研二, “道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法”, 映像情報メディア学会誌, vol. 65, no. 6, pp.833-840, 2011.
- [21] 山本浩司, 高橋 秀喜, 亀岡 弘之, “光刺激によって起因した感覚を利用した渋滞等対策”, 光アライアンス, vol. 25, no.1, pp.10-15, 2014.



東井 隼斗

2013 信州大学工学部卒. 2015 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博士前期課程修了. 在学中, 高度道路交通システムの研究に従事.



北原 格 (正員: シニア会員)

1996 年筑波大学大学院理工学研究科了. 同年シャープ (株) 入社. 2000 年筑波大学先端学際領域研究センター助手. 2003 年 ATR 研究員. 2005 年筑波大学大学院システム情報工学研究科講師. 2008 年同准教授. コンピュータビジョン, 複合現実感の研究に従事. 2001 年本会学術奨励賞. IEEE VR2003, EuroITV2013 Honorable Mention Award, 2009 年度日本 VR 学会論文賞などを受賞. 博士 (工学)



亀田 能成 (正員: シニア会員)

1991 京都大学大学院博士後期課程認定退学. 京都大学助手, 2001-2002 年米国 MIT 客員研究員(併任), 筑波大学講師を経て, 2004 年同大学院システム情報工学研究科助教授, 現准教授. 京都大学博士 (工学). 知的画像処理, マルチメディア処理, 複合現実感技術等の研究に従事. 情報処理学会, バーチャルリアリティ学会, 画像電子学会, IEEE 会員.



大田 友一 (正員: フェロー)

1977 京都大学大学院博士課程了. 京都大学情報工学科助手, 筑波大学電子・情報工学系講師, カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員, 筑波大学電子・情報工学系助教授を経て, 1992 年同教授. 2004 同大学院システム情報工学研究科教授. 2013 より, 同大学副学長・理事. 工博. コンピュータビジョン, 視覚情報メディア, 複合現実感の研究に従事. 2008 ~2009 年度 本会理事. 2009 年度日本 VR 学会論文賞受賞. パターン認識国際連盟フェロー, 情報処理学会フェロー.

(平成 XX 年 XX 月 XX 日受付, XX 年 XX 月 XX 日再受付)

Abstract. We propose Virtual Pattern that can change the perceptual vehicle speed of driver. Virtual Pattern flows in the driving view depending on vehicle speed. We use optical see-through display called Wind-Shield Display to display Virtual Pattern. Driver's speed perception is changed by the design of Virtual Pattern and its speed in the driving view. We verified the effectiveness of the Virtual Pattern in CG simulation experiment. We also verified the Virtual Pattern on a real vehicle.

Keywords: intelligent transport systems, augmented reality, wind-shield display, speed reduction