

周辺視野の動的知覚特性にもとづく スポーツ映像の速度感増強システム

中嶋 慶輔¹ 福地 健太郎¹

概要: スポーツの中継映像は、実際の現場での視界のごく一部しか視聴の対象になっていない。人間の視覚特性では周辺視野部では特に動きの知覚に優れているため、中継映像では速度感覚への刺激が実際に比べて低下していると考えられる。我々は今回、画面周辺部に動き提示のみを目的としたLEDアレイを設置し、画面内の動きにあわせてLEDを点灯させることで、速度感を増強するシステムを提案する。評価実験ではこのLED表示により、被験者の速度感覚に影響を及ぼすことができることが確認できた。本手法は視界が制約させるコックピットや遠隔操作システムやなどにも応用することで制御精度の向上も期待できる。

1. はじめに

テレビ画面で観るスポーツ中継映像は、スタジアムやドライバースシートで実際に目にする光景と比べると、臨場感や迫力に欠ける。その原因の一つに視聴者の視野に占める映像の大きさが挙げられる。しかし画面の大型化による解決は、コストの面からも設置条件の制約からも、簡単に採用できる方法ではない。ここでヒトの視野特性を考慮すると、テレビ画面を視野中心に据えた場合、テレビからの映像が提示されない大部分は解像度や色覚に劣る周辺視野で捉えられている。そのため、テレビと同等の表現力を持つ機器を使わずとも、周辺視野の視覚特性にあわせた安価な表示装置を組み合わせることで、臨場感や迫力を補うことができる可能性がある。

今回、ヒトの周辺視野は動きに対する感度が高いことに着目し、周辺視野では低解像度で動きのみを提示する装置をLEDを用いて試作した。LEDの明滅パターンを映像の動きにあわせて制御することにより、映像の内容に応じた動き刺激を周辺視野に与える。今回は自動車レースのドライバー視点の映像を対象とし、その動きを提案する装置で増幅することを狙った。具体的には、レースゲームの映像の周辺に、車の速度に連動した動きを提示することでスピード感が増幅されるかどうかを実験した。その結果、提案装置が主観的なスピード感覚を変化させることが実証された。

また、提案システムをサッカーの中継映像に応用した。具体的には左右方向の動きを増幅することで動きの迫力を

増し、加えてスタジアムの歓声に応じて上下方向の動きを提示することで観客席の高揚感を伝えることを狙った。評価実験の被験者からは動きが増幅されて感じたという回答はあったものの、視聴に適するかについては否定的な回答があった。また高揚感があったとする回答は得られたが、その主要因は特定できていない。

2. 背景

ヒトの視野角は、明るさを知覚できる範囲では水平方向で180°程度あり、臨場感に寄与するのは60°程度と言われている[10]。これに比して、例えば40インチのテレビ画面を2m離れて見た場合、25°程度であり、ごくごく狭い領域を占めることとなる。一般に推奨される高解像度テレビ画面(HDTV)の視野角は40°程度であるが[9]、上で挙げた、おおよっぱにもものが見える範囲に比べればまだ小さい。逆に60°の視野角を占めるのに必要なテレビ画面の水平方向の大きさは3.5m程となり、非常に広い範囲をヒトは見ていることがわかる。

そのため映像機器はできるだけ大きな領域を映像で占めるために、スクリーンを大きくシアスペクト比を高めることを目指している。アスペクト比の発展を見ると、映画産業では4:3から16:9、そして2:1以上の比率へと横幅を広げ、水平方向に広いヒトの視野に映像を届けている。家庭用のテレビ画面も近年は16:9が普及し始めている。あわせて画面解像度も向上を続け、一般市場への4Kテレビの投入も始まっている。しかし上で概算したように視野の広い範囲を覆うためには非常に大きな画面サイズが必要となり、コストや設置条件を考慮すると現実的とはいえない。ヘッドマウントディスプレイを使い視野を覆うことを狙っ

¹ 明治大学
Meiji University

た製品も開発されているが、これも多人数での気楽な視聴を妨げ、一般向けの解決手法とはいえない。

しかし、ヒトは視野全体に渡って細かく対象物を見ている訳ではない。文字が読める程度の空間分解能を持つのは視野内の1°程度の範囲であり、周辺視野領域では対象物の細かい形状や色は把握しておらず、一方で動きに対する感度が高いことがわかっている。そのため周辺視野領域では低解像度であっても動きを提示することによって臨場感や迫力の向上を図る装置がこれまでに提案されている(次節参照)。このことは経験的には以前から知られており、例えばミラーボールが壁や床に投げかける光が強い移動感や速度感を演出することはよく知られている*1。

我々はヒトの視覚のこうした特性を考慮した、LEDを用いた安価な動き提示装置を開発した。従来のディスプレイはそのまま中央視野向けの映像提示装置として用い、その周辺に動き提示装置を設置し、映像コンテンツの内容に応じて動きを提示することで、周辺視野への刺激を補い、臨場感の向上を目指した新しいエンタテインメントの創出を狙う。

3. 関連研究

中心視野に高解像度の映像を、周辺視野に低解像度の映像を提示することにより、全体の映像提示にかかる計算コストを低減しつつ、見た目には違和感のない映像を提示するという手法は近年多く研究がされている[7][4]。これらは一つの高解像度ディスプレイの中で、ユーザが注視している領域のみ高解像度情報を提示し、その周辺は低解像度表示にすることにより信号の伝送コストや消費電力の削減などの効果を狙っている。

ディスプレイの周辺に映像や光を提示して周辺視野を刺激し、臨場感や迫力を増すことを目指す研究や製品はこれまでもいくつか提案されている。Focus+Context Displayは中央視野で高解像度ディスプレイを、周辺視野で低解像度のプロジェクタ映像を見ることで、低コストに大型ディスプレイを構築する手法を提案している[2]。同手法はディスプレイ周辺に投影のためのスクリーンを設置する必要があったが、IllumiRoomではディスプレイ周辺の三次元形状を計測し、そこに歪みをキャンセルするように映像を投影することで、スクリーン設置を不要としている[8]。

ヘッドマウントディスプレイ方式で周辺視野への映像投影を可能にし、高臨場感を目指した研究としては、Baekらの研究がある[1]。岡野らは低解像度のLEDマトリクスを使用することで、安価に周辺視野刺激による速度感提示を実現した[11]。HMD方式は複数人で鑑賞できず高コストであり、本研究が対象とするエンタテインメント分野への応用は難しい。

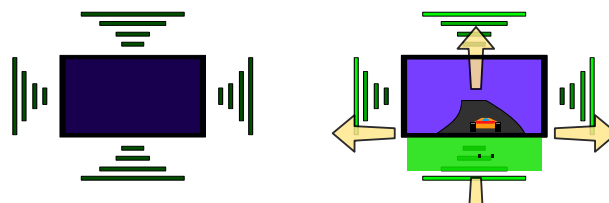


図1 提案システムの概略図: ディスプレイの四周に発光装置を設置する。映像コンテンツの内容に応じて発光装置を使って動きを提示し、視聴者の周辺視野を刺激し、スピード感を増強する。

PHILIPS社は液晶ディスプレイの四周にLEDを埋め込み、壁面に投光するAmbilightという製品を開発している[3]。Ambilightはディスプレイに表示されている映像の周縁部の色合いをそのままLEDを使って壁面に投光することにより、ディスプレイの縁で映像が切り切れておらずに広がりがあるかのように錯覚させるという機能を持つが、提示できる動きの方向はディスプレイの四辺の縁と並行する方向に制限される。これをさらに拡張し、ディスプレイの四周に小さなプロジェクタを装備し、より解像度の高い映像を投影できるようにしたのが、Novyらのシステムである[6]。Novyらは、ディスプレイに表示されている映像を解析し、映像の色合いや動きを反映した周辺視野刺激用の映像を生成する手法を開発しており、今まで以上に違和感のない周辺視野用映像が得られるとしている。

4. 提案手法

本提案は、従来のテレビ画面で観るスポーツ中継映像の臨場感や迫力の不足の一つの要因であると考えられる、周辺視野への刺激の少なさを解決する手法として、ディスプレイを大きくしたりプロジェクタを使って画面の大きさを補うのではなく、LEDのような安価な発光素子を利用した、安価で設置コストも低い解決手法を提供するものである。

先行研究が明らかにしているように、ヒトの周辺視野は解像度や色覚が中心視野に比べると劣るが、動きの知覚には優れている。そこで、映像の細かさや美しさを犠牲にしつつ、動きの提示に特化した発光装置をディスプレイの四周に配置し、映像コンテンツの持つスピード感を周辺視野にも提示するというのが本提案の骨子である。図1にシステムの概略図を示す。左図にあるように、ディスプレイの四周に発光装置を設置する。ディスプレイに表示される映像コンテンツに応じて発光装置の点滅パターンを制御することで、周辺視野への動き提示を実現する。発光装置の仕組みとしては、LEDや有機ELワイヤを使うなどの直接照明方式のほか、ディスプレイのすぐ後ろに壁面がある場合には、LEDやレーザーで壁面に投光する間接照明方式が考えられる。次節で紹介するプロトタイプでは、LEDにデフューザーを組み合わせた、直接照明方式を採用している。

*1 光によるステージ演出を手がけるSHINKILOWのミラーボールを使った光演出が有名。

映像コンテンツの内容から動き提示の仕方を制御する方法として、現在はコンテンツからオプティカルフローを解析し、その動きに応じて発光装置を駆動する方法が考えられる。また、映像コンテンツに制御用信号を埋め込んでおいたり、ゲーム機を対象とするのであればゲーム機が直接制御する、といった応用が考えられる。

5. 試作システム概要

図 2 に試作したプロトタイプ全体像を示す。中央には液晶ディスプレイ (15 インチ・XGA) があり、その四周には、LED アレイが計 4 本配置してある。一つの LED アレイは 6 個の LED が 40mm 間隔で配置され、Arduino によって制御されている。点灯する LED の位置を制御することで動きを提示することができる。Arduino は PC にシリアル通信で接続されており、動きの向きと速度を PC から制御することができる。現在の実装では速度は-128~127 の 255 段階で調整でき、最高速度では点灯する LED が動くのは毎秒 50 回程度となる。

LED 光源の効果を高めるため、LED の手前にデフューザとしてトレーシングペーパーを設置した。このとき、内から外に向かって手前側へ傾斜をつけて設置する。これにより、ディスプレイ中央側の LED の光はトレーシングペーパーに小さくかつ明るく投光され、外側に向かうに従って大きく暗くなっていく。すべての LED が点灯したときの様子を図 2 右に示す。

今回の試作ではターゲットとして、レース映像を題材に選んだ。レース映像の中でもオンボード映像と呼ばれる、ドライバーの視点からの映像は臨場感に溢れるもので人気が高いが、テレビ画面で観るそれは、本来のドライバーの視野に比べると小さく、スピード感や迫力に欠ける。これは、人間がスピード感を感じる要因として、周辺視野下部で捉える路面の動きが先行研究により挙げられているが [5]、ドライバー視野をテレビカメラの画角で切り取ると、路面は車体によってほとんど隠されてしまうためである。そこで、提案手法によって周辺視野へ車の走行速度を反映した動きを提示することでスピード感を補うことを狙う。

オンボード映像を題材とした場合、視界内での路面や縁石などの風景の動きにあわせ、LED の動きは画面の内から外へと拡がっていくようなものを提示する。LED の動きの速度は車の走行速度を反映させる。ここで、車の走行速度を映像から得る必要があるが、実際のレースにおけるオンボード映像を対象とすると処理が複雑になるため、現時点では市販のレースゲームを使用し、ゲーム画面に表示される速度メータを画像解析して走行速度を取得した。使用したゲームは Playstation 2 用の「グランツーリスモ 3」(SCE, 2001) である。ゲーム画面を図 3 に示す。この画面の速度メータの部分から、赤い針の部分抽出し、その重心位置から速度を推定する。予備実験ではこの方法で



図 3 グランツーリスモ 3 のゲーム画面。画面左下のスピードメータの針の位置から速度を取得する。

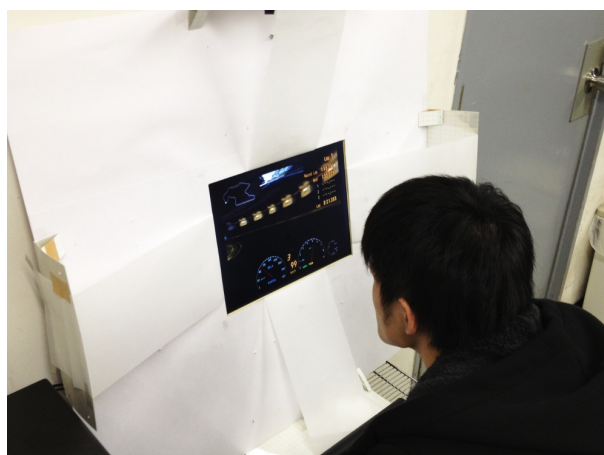


図 4 レース映像による実験の状況。被験者は中央のディスプレイ部分を注視する。

安定して走行速度を検出することができた。ただし、メータの背景部分は半透明処理を施されているため、自車の目の前に別の車が接近しているときにテールライトなどに反応して推定に失敗する場合がある。そのため今回の実験では別の車がない状態の映像を使用している。

こうして推定された速度をもとに LED を制御する。今回は 240km/h で走行している際に最高速度で LED を動かすように設定した。また次節に述べる評価実験のため、キーボード操作により 2/3 倍速および 1/2 倍速で動き提示できるようにしている。

6. 評価実験

6.1 実験の目的

この評価実験は、提案する LED アレイによる周辺視野刺激により、速度感が増強されるかどうかを検証することにある。実験には前節で説明した試作システムを用いる。

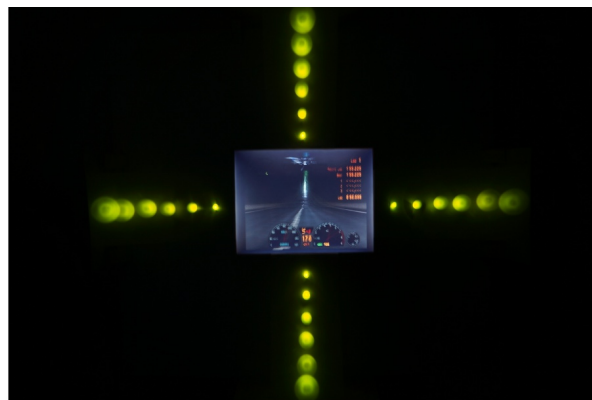
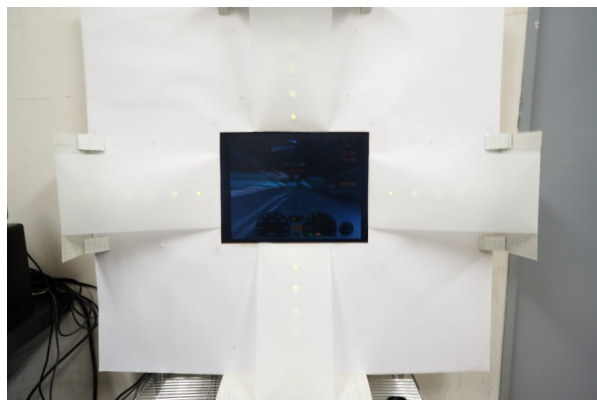


図 2 レース映像向けの LED によるスピード感増強システムの試作機. 右は LED をすべて点灯させたときの様子.

6.2 実験手順

実験の様子を図 4 に示す. 被験者は着席した状態でレース映像を中央のディスプレイで観る. 映像はゲーム中でコースをテスト走行した際の映像を DVD に記録しておいたもので, DVD のチャプター毎に走行条件 (最高速度) を変えている. 被験者頭部のディスプレイからの距離は 250mm 付近に設定している. LED の光がよく見えるよう, 室内の照明は薄暗くして実験を実施した. 映像提示中は音量を 0 にし, 走行音や効果音などは被験者には聞かせていない.

実験の開始時にはまず LED による刺激提示なしに, サークット 1 周分の映像を観てもらふ. その際, スピードメータは被験者に見えるようにしておき, 走行速度がわかる状態で速度感覚をつかんでもらふ (最高速度 210km/h のもの). コース中盤のバックストレートを抜けるときに, 被験者にはその時の最高速度が 210km/h であったことを伝える.

次に, スピードメータとタコメータおよびタイム表示部を黒い四角で隠した状態で, LED による刺激提示を行いながら映像を観てもらい, バックストレートを抜けたときに最高速度がどれくらいに感じられたかを, 口頭で述べてもらふ. 映像は走行速度の異なる 3 種類を用意した. それぞれバックストレート通過時の最高時速が 180km/h・210km/h・240km/h となっている. 一種類の映像について, LED の速度を 3 段階 (通常・2/3 倍速・1/2 倍速) で変えながら 3 回提示し, 回答した速度が LED による動き提示からどのような影響を受けるかを調べる. 被験者はこの計 9 条件の映像を, ランダムな順番で, かつ条件は伏せられた状態で提示される. なお, 走行映像を見続けていくうちに速度感覚の基準がずれるのを防ぐため, 3 回映像を観る度に, 基準となる走行映像をスピードメータが見える状態で再度観てもらふ. したがって, 被験者は合計 12 回分の走行映像を観ることになる.

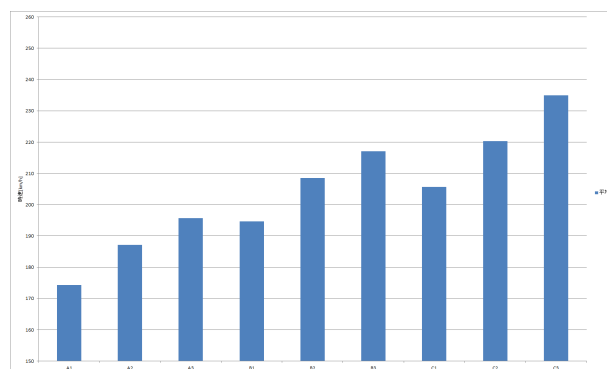


図 5 実験結果: 全被験者の平均回答速度

6.3 実験結果

図 5 に, 全被験者から得られた回答速度の平均値を示す. 横軸には, 提示した走行映像の最高速度を A~C (A:180km/h, B: 210km/h, C: 240km/h), LED の速度を 1~3 とし, その組み合わせを記してある. 結果より, 同じ速度の走行映像を提示した場合, LED の速度を上げると被験者の体感速度が向上していることがわかる.

以下に, 結果を詳しく分析していく.

図 6, 図 7, 図 8 に, それぞれの走行映像に対する各被験者の回答速度を示す. いずれにおいても, LED の速度向上にならって回答された速度が向上する傾向が見られる. ただし, 一部の被験者においては関係が逆転している場合もある.

被験者間で, 同じ条件の映像に対する体感速度にバラつきが見られるため, 同一の被験者が回答した速度の最低速度を 0, 最高速度を 1 として正規化して分析をする. 図 9 に, 正規化した速度の平均値を示す. これを見ると, 同一の LED 条件化では, 映像の速度上昇にともない回答された速度も上昇し, また同一の映像条件化では LED の速度上昇にともない回答された速度も上昇しており, 被験者は映像・LED のそれぞれについて速度の増減についておおむね正しく判断できていることがわかる.

興味深いのは, B3 条件, すなわち 210km/h 走行時の映

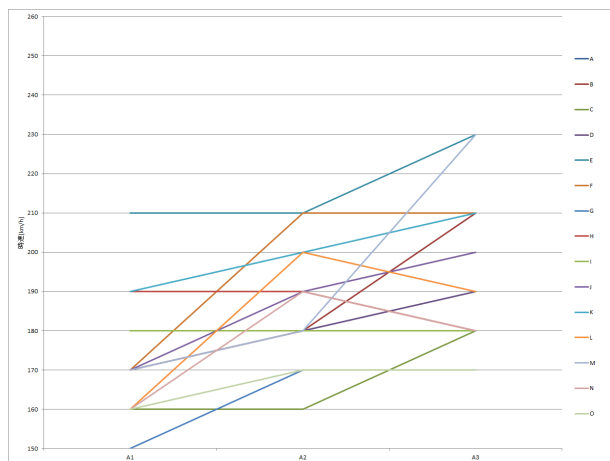


図 6 実験結果: 180km/h の走行映像に対する各被験者の回答速度

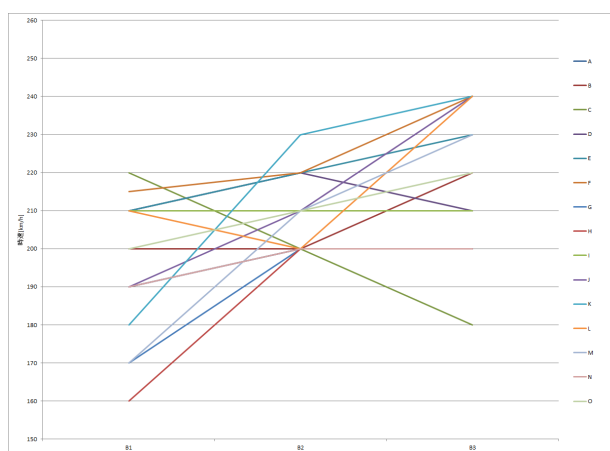


図 7 実験結果: 210km/h の走行映像に対する各被験者の回答速度

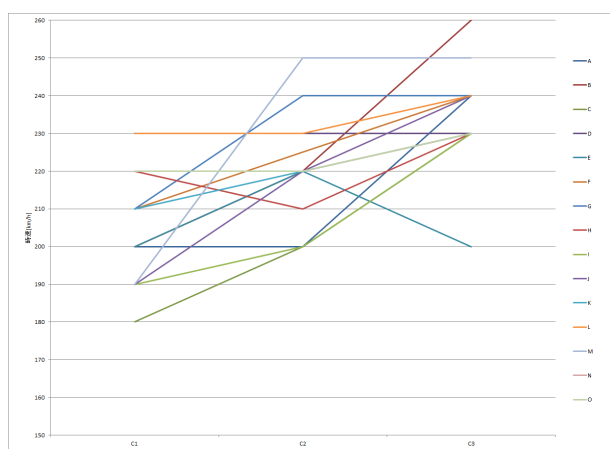


図 8 実験結果: 240km/h の走行映像に対する各被験者の回答速度

像に最高速度の LED 動き提示をしたものの回答された速度が、C1 条件、すなわち 240km/h 走行時の映像に最低速度の LED 動き提示をしたものの回答された速度を下回ったことである。これはつまり、被験者が速度を知る手がかりとして、ディスプレイに提示された高精細なゲーム画面よりも、周辺視野で捉えた動き提示がより強く影響を与えている可能性を示唆している。

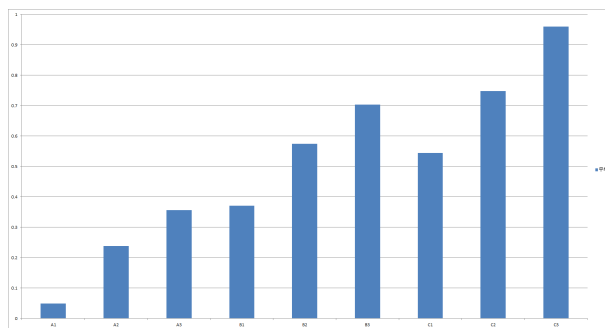


図 9 実験結果: 被験者毎に正規化した速度の平均値

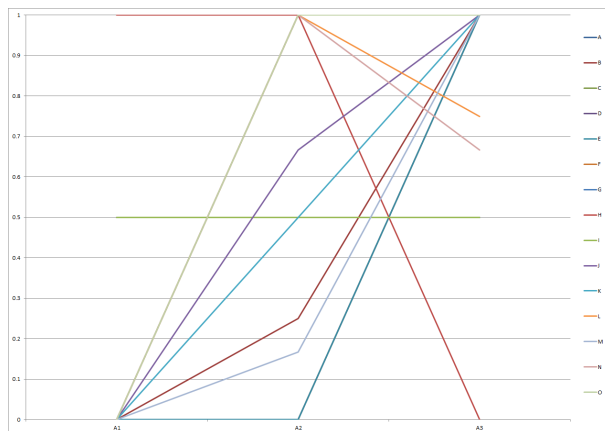


図 10 実験結果: 180km/h の走行映像に対する各被験者の正規化された回答速度

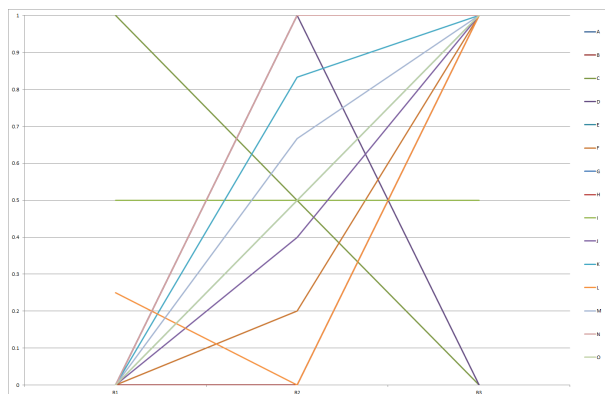


図 11 実験結果: 210km/h の走行映像に対する各被験者の正規化された回答速度

図 10・図 11・図 12 は、各走行映像毎に、被験者の回答した速度を被験者毎に正規化したものを示している。多くの被験者については、LED が最低速度で動いている時に一番遅い速度を回答するため 0 に、最高速度で動いている時に一番速い速度を回答するため 1 という結果となる。中間の速度をどれくらいの感じたかについては分散が大きい一方、各 LED 動き提示条件下で正規化した結果を見ると、回答の傾向の被験者間のばらつきが低く抑えられているように見え、中間の速度についての回答された速度も分散が小さい。これについてははっきりした事は言えないが、単純な LED 表示に比べるとゲーム映像の方が速度を

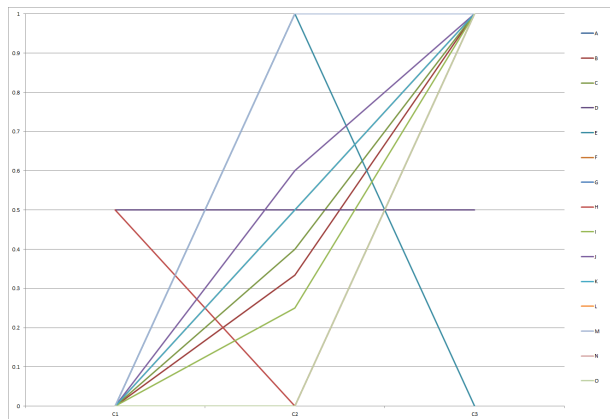


図 12 実験結果: 240km/h の走行映像に対する各被験者の正規化された回答速度

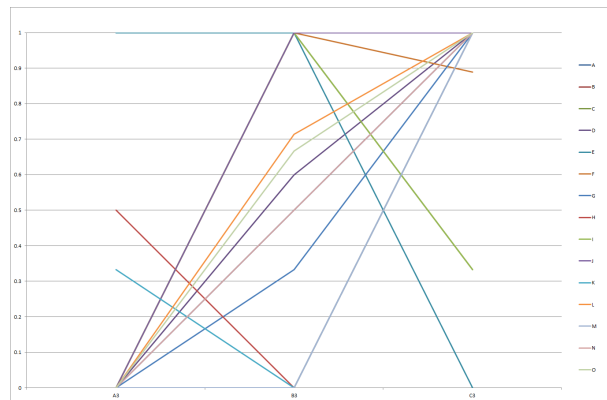


図 15 実験結果: 通常速の LED 動き提示に対する各被験者の正規化された回答速度

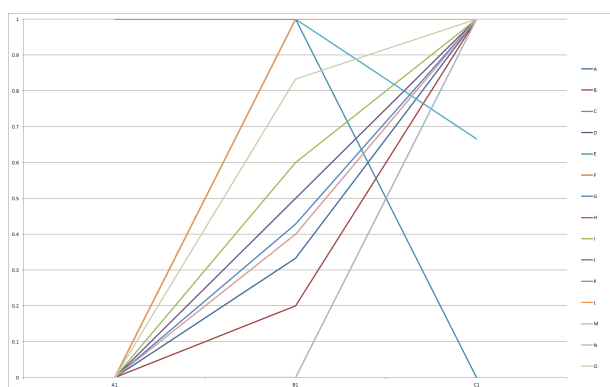


図 13 実験結果: 1/2 倍速の LED 動き提示に対する各被験者の正規化された回答速度

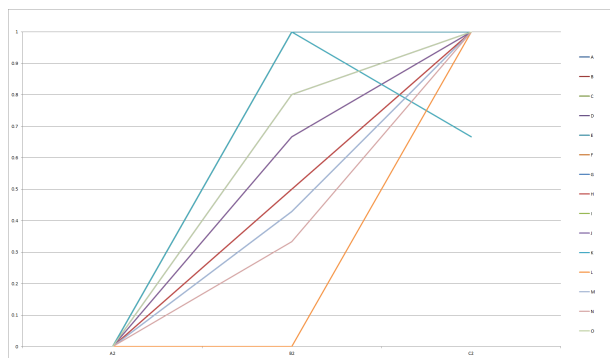


図 14 実験結果: 2/3 倍速の LED 動き提示に対する各被験者の正規化された回答速度

知るための手がかりに富み、映像中から何がしかの形で速度を読み取っている可能性がある。この違いについては今後の調査を要する。

7. レース映像以外への応用

レース映像以外への応用として、サッカーの中継映像に提案システムを応用した。LED アレイの向きを変え、ディスプレイの縁と並行になるように設置し、画面に対して横方向および縦方向の動きを提示できるようにした。サッカーの中継映像に対し、画面横方向の動きをオプティカル

フロー法を用いて抽出し、その動きをディスプレイの上下にある LED アレイで提示した。ボールの動きにあわせてカメラがパンする動きを増幅することを狙った。またディスプレイ左右の LED アレイでは、試みに収録されている音声信号のレベルを反映させてみた。音声レベルが通常の場合は何も提示しないが、歓声が上がりレベルが上昇すると、上向きの動きを提示し、レベルに応じて速度を変化させた。

数名の被験者を得て口頭で感想を述べてもらったところ、横方向の動きが増幅された感じはあったが、左右の動きが強調されることにあまり魅力を感じないという回答が多かった。一方、縦方向の動きについては、ゴールシーンなどに反応して大きな動きがあることについては、「興奮が強まった」などの肯定的な回答が多かった。

8. 議論

実験結果より、画面周辺に設置した LED アレイによる動き提示が、被験者の速度の感じ方に影響を及ぼすことがわかった。ただし今回の実験条件では、LED の速度を見て被験者が意識的に回答を操作した可能性は排除しきれない。そこで試みに、被験者のうち数名には実際にゲームを遊んでもらい、走行中に被験者に気付かれぬようそれとなく LED の設定条件を切り替えてみるという実験を行ってみた。その結果、LED の速度設定を上げると、一部の被験者ではブレーキングのタイミングが早まる傾向が見られた。被験者数が少ないため確とした結果ではないが、こうした被験者による操作を取り入れた実験環境を構築することは検討すべきであろう。

提案システムでは LED の小さな光で動き提示をしているが、周辺視野の広さを考えるとより広範囲に刺激を提示することが望ましいだろう。例えば有機 EL ワイヤのように長さのある自己発光素子を用い、図 1 に示したような設置により刺激面積を広げることが考えられる。ディスプレイ周囲に壁面がある場合には、Ambilight のようにディスプレイ裏面に投光用の機器を設置する事が望ましい。レー

ザーに回折格子や回転角柱ミラーなどを組み合わせるなど、光に拡がりを持たせることで動きを表現できるだろう。

サッカー中継映像へ提案システムを適用した試みについて、音声レベルと連動させた動き提示に肯定的回答が目立った。提案手法の本来意図するところではないが、スタジアムでの観戦においても歓声が湧くようなシーンでは周囲で大きな動きがある（立ち上がる・腕を振るなど）ことから、周辺視野への動き提示がそうした周囲の動きに相当する刺激を生み出し、臨場感や興奮の増強に寄与しているのかもしれない。今後はこうした方向への展開も調べるべきだろう。

9. まとめ

ディスプレイの四周に設置したLEDアレイを用いて、視聴者の周辺視野へ動きを提示し、スピード感を増強させるシステムを構築した。レース映像を用いた評価実験により、映像中の車の走行速度に応じてLEDの点滅パターンを制御し動きを提示することで、被験者が感じる速度に影響を及ぼすことが示された。また、LEDの動きを速くするほど、体感速度が上昇することがわかり、提案システムの有効性が示された。

今後はさらに実験を緻密に設計し、提案手法の有効性をさらに検証していくとともに、その効力をさらに強化するために表示系の改良を行う。また、実用化のために、実装をコンパクトで低コストな実装について検討を進める。

参考文献

- [1] Baek, J.-u., Jung, J. and Kim, G. J.: Head mounted display with peripheral vision, *Proceedings of ICAT '05*, New York, NY, USA, ACM, pp. 282-282, DOI: 10.1145/1152399.1152472 (2005).
- [2] Baudisch, P., Good, N. and Steward, P.: Focus Plus Context Screens: Combining Display Technology with Visualization Techniques, *Proceedings of UIST '01*, pp. 31-40 (2001).
- [3] Cherry, S.: A visionary experience:, *Password*, Vol. 31, pp. 4-7 (2008).
- [4] Duchowski, A. T., Cournia, N. and Murphy, H.: Gaze-Contingent Displays: A Review, *CyberPsychology & Behavior*, Vol. 7, No. 6, pp. 621-634, DOI: 10.1089/cpb.2004.7.621 (2004).
- [5] Nojima, T., Saiga, Y., Okano, Y., Hashimoto, Y. and Kajimoto, H.: The Peripheral Display for Augmented Reality of Self-motion, *Proceedings of ICAT '07*, Washington, DC, USA, IEEE Computer Society, pp. 308-309, DOI: 10.1109/ICAT.2007.54 (2007).
- [6] Novy, D. E. and Bove, V. M.: Imagery Beyond the Screen Edge, *SID Symposium Digest of Technical Papers*, pp. 1561-1563, DOI: 10.1002/j.2168-0159.2012.tb06115.x (2012).
- [7] Reingold, E. M., Loschky, L. C., McConkie, G. W. and Stampe, D. M.: Gaze-Contingent Multiresolutional Displays: An Integrative Review, *Human Factors*, Vol. 45, pp. 307-328 (2003).
- [8] Research, M.: IllumiRoom: Peripheral Projected Illu-

usions for Interactive Experiences, <http://research.microsoft.com/en-us/projects/illumiroom/>.

- [9] THX Ltd: HDTV Set Up, <http://www.thx.com/consumer/home-entertainment/home-theater/hdtv-set-up/>.
- [10] 畑田豊彦: 人工現実感に要求される視空間知覚特性, 人間工学, Vol. 29, No. 3, pp. 129-134 (1993).
- [11] 岡野 裕, 雑賀慶彦, 橋本悠希, 野嶋琢也, 梶本裕之: 速度感覚増強のための周辺視野への刺激提示手法の検討, 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション研究会報告, Vol. 2008, No. 11, pp. 145-150 (2008).