

# パイロット支援を目的とした オプティカルフローによる移動感覚増強提示手法の検討

雑賀 慶彦<sup>1)</sup>, 岡野 裕<sup>1)</sup>, 橋本 悠希<sup>1)</sup>, 梶本 裕之<sup>1)</sup>, 野嶋 琢也<sup>2)</sup>

1) 電気通信大学 人間コミュニケーション学専攻 梶本研究室  
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {saiga, okano, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)  
2) 宇宙航空研究開発機構 総合技術研究本部  
(〒181-0015 東京都三鷹市大沢 6-13-1, tnojima@computer.org)

**概要:**パイロットが航空機を操縦する場合、コックピット内部の計器情報のみならず、コックピット外部の視覚的な情報を重要な手がかりとしている。しかし、ヘリコプタによる高々度や海上でのホバリングのように、外部の視覚の手がかりが少ない状況の場合、自機の移動の把握が難しくなり、操縦が困難になる場合がある。本研究ではこの問題に対し、オプティカルフローを提示することでパイロットの速度感覚を増強し、操縦の支援を行うシステムを提案した。そして実験を通じて、その効果を確認している。本報告ではコックピットへの搭載を考慮して、システムに対して要求される条件について考察を行い、それに基づいて基礎的な評価を実施したので、その結果について報告する。

## The study on the pilot assistance display using augmented reality of self-motion

Yoshihiko SAIGA<sup>1)</sup>, Yu OKANO<sup>1)</sup>, Yuki HASHIMOTO<sup>1)</sup>, Hiroyuki KAJIMOTO<sup>1)</sup> and Takuya NOJIMA<sup>2)</sup>

1) The University of Electro-Communications Human-Communication Kajimoto Laboratory  
(1-5-1, Choufugaoka, Chofu City, Tokyo, 182-8585 {saiga, okano, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)  
2) JAXA Institute of Aerospace Technology  
(6-13-1, Osawa, Mitaka City, Tokyo, 181-0015 tnojima@computer.org)

**Abstract:** For pilots who fly the aircraft, the visual cue from outside of the window is as essential as the information from meters within the cockpit. However, it often becomes difficult for them to fly the aircraft without enough visual cues. For example, the hovering flight of helicopters at very high altitude or over the ocean. In our previous research, we propose a new augmented reality display system using optical flow to enhance the sense of self-motion to assist pilots to fly. Then we described the experimental result. In this report, we discuss the conditions to install the proposed system to the cockpit. Then we also report the result of preliminary evaluation.

### 1. はじめに

航空機を操縦する際、パイロットは、コックピットの内外に関して常に注意を払うことが要求される。コックピットの外を監視することにより、天候や他の航空機の運航状況を確認して周辺空域の安全確保を行い、滑走路の探索や、水平線に基づいた機体姿勢情報の取得などを行う。同時に、コックピット内部の計器を通じて、機体の速度や高度、姿勢といった情報を取得している。パイロットはそれらの情報を総合して、常に安全を確保しながら航空機の操縦を行っている。パイロットはこれらの作業を実行

するために必要な訓練を受けており、通常であれば問題なく遂行することが可能である。しかし特定の条件においては、パイロットの作業負荷が増大し、これらの作業を円滑に遂行することが困難になることが知られている。

例えばヘリコプタによる、高々度、あるいは海上でのホバリングという状況を考える。ヘリコプタはその特性上、空中での静止飛行、即ちホバリングが可能であり、この特長を生かして海難救助などで頻繁に利用されている。ヘリコプタパイロットがマニュアルでホバリングを実施する場合、通常は周囲の景色の変化から生

じる機体の移動感覚を手がかりとして、特定の点に機体を静止させるような操縦を行っている。そのため、高々度や海上でホバリングを実施する場合、極端に視覚的な手がかりが少ないため、高い精度でホバリングを実施することが困難なものになってしまう。

ここで逆に、パイロットに対して適切な移動感覚を生成させるようなシステムを考える。このようなシステムを利用することでパイロットは、周囲の景色変化という視覚的な手がかりの有無とは関係なく、通常のホバリングと同様の操縦感覚でホバリングを実施することが可能になると考えられる。さらに、この移動感を必要に応じて増強させることにより、通常よりも高い精度でのホバリングを容易に実施可能になると考えられる。

一方でこのような問題に対し、ホバリングを実施する際に必要とされるような情報を、従来型の計器上に表示する、という解決手法も考えられる。実際にこれまで、機体の速度、高度、姿勢、などの情報を示す多数の計器を、CRTを用いて一つの計器にまとめた PFD(primary flight display)、風向、風速、気象情報などを表示する ND(navigation display)、パイロットが頭を上げた状態で外界から視線をそらすことなく、計器情報を確認できる HUD(head-up display)など、様々な形式の「情報表示装置」が開発されてきた。そしてこれらの「情報表示装置」を使用することにより、操縦時のパイロットの負荷は低減され、安全性も向上してきている。しかしこれらの「情報表示装置」は、所定の情報を数値化、あるいは図案化することにより、パイロットへの情報伝達を実施してきた。つまりパイロットには、表示された情報に対して視線を向け、表示内容を把握し、解釈するという動作が暗黙のうちに要求されていることとなる。

ホバリングを実施する際に必要とされるような機体の移動情報それ自体は、従来型の「情報表示装置」の上に表示することは可能である。例えばホバリングの目標地点からのずれの量や速度などは、容易に表示可能であろう。しかしパイロットは、周囲の景色変化により生成される移動感に基づいてホバリング操作を実施しており、そのための技術について十分学習している。つまり、移動感覚を生成・操作することが可能であれば、新たに学習することなく、それまでに会得した操縦技術をもそのまま生かすことが可能であると考えられる。逆に従来型

の「情報表示装置」に数値や図案などで情報を表示した場合、パイロットは機体の移動を把握するため、表示された情報と実際の機体の移動との間の関係性について学習をする必要が生じる。

そこで本研究では、パイロットの移動感覚を増強することにより、操縦を支援するシステムの構築を目指すものとする。

## 2. 移動感覚増強提示手法

通常人間は、自らの移動を判断する際に、視野周辺部におけるオプティカルフローを手がかりにしていることが知られている。人間が移動する際には、速度感や加速度感など、いくつかの感覚が生成されるが、本研究では「速度感覚」に特に着目するものとした。一般的に、人間の視野は、視線を中心とした数度の範囲内を中心視野、それ以外の範囲を周辺視野とに区別され、周辺視野は中心視野と比較して、空間解像度が低く、時間解像度が高いことから、物体の動き、速度感覚に対して非常に敏感であると言える。そして、その性質を利用し、周辺視野へ積極的にオプティカルフローの提示を行うことによって、速度感覚の増強提示が可能であると考えられる[2]。先に例示したヘリコプタのホバリングなどの際には、その速度感覚の不足が操縦を困難にさせていると考えられるため、パイロットの速度感覚を増強提示することが可能であるならば、パイロットの負荷軽減へ貢献できると考えられる。

我々は既にマトリックスLEDを利用して視野周辺部にオプティカルフローを発生させるシステムを試作しており、実験を通じてその効果を確認している[3]。試作システムでは図1に示すようなマトリックスLEDを、パイロットの視野周辺部に配置することにより、視野周辺部に対するオプティカルフローを生成している。

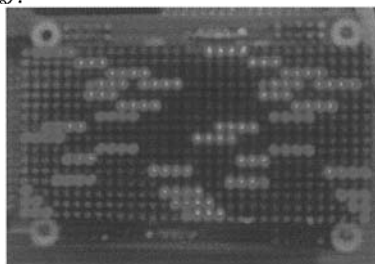


図 1. オプティカルフロー生成に用いたマトリックスLED

図 2 では提案するシステムを用いて、フライトシミュレータを利用している状態を示している。視野周辺に配置されたマトリクス LED では、LED を一定方向に順次点滅させていくことにより、オブティカルフローを発生させている。



図 2. 試作システムのフライトシミュレータにおける利用

そしてフライトシミュレータを用いた実験を通じて、このシステムがパイロットの速度感を増強することが可能であることを確認した [4]。

ここで、提案システムの航空機コックピットへの搭載について考察を加える。そもそもオブティカルフローを提示するための手法としてはいくつか考えられるが、本研究では、消費電力の少なさや、配置の容易さから、LED の利用を前提とするものとした。しかし、コックピットに図 2 に示すようなシステムをそのまま搭載することは難しいものと考えられる。仮に搭載した場合、視野周辺部を覆うマトリクス LED そのものにより、パイロットの視界が妨げられてしまうためである。コックピットへ搭載し、パイロットに利用してもらうためには、可能な限りパイロットの視界を妨げず、他の情報（周辺を飛行する他機、コックピット内部のインジケータ等）と混同する恐れがないように考慮する必要がある。そのために考える対策の一つとして、LED 同士の間隔を広げ、光点の数を極力少なくするという方法が考えられる。光点の数を少なくすることにより、パイロットの視界を妨げ、さらに他の情報と混同する可能性は低減させることが可能であると考えられる。その一方で、光点同士の間隔が広がってしまうことにより、光点によるオブティカルフローの生成、ならびにパイロットの速度感覚

の増強が困難と考えられる。

そこで本研究では、提案システムのコックピットへの搭載を念頭に置き、各光点の間隔をできるだけ広く取った状態でも十分な速度感覚が生成できるような条件について検証を行った。

### 3. 仮現運動

光点列を利用したオブティカルフローにより速度感を増強するためには、各光点の点滅が一定の条件の下で制御され、所定の運動を行っているように見える必要がある。例えば電光掲示板などで見られるように、各 LED の点滅を適切に制御することにより、物理的には動いていない光点が、あたかも滑らかに動いているように感じられるようにする必要がある。電光掲示板では LED は物理的には移動せず、互いに離れて配置されている。しかしその点滅のタイミングが適切に制御されているため、人間の目には連続的に光点が移動しているように感じられている。これを仮現運動と呼ぶ。そして LED を使用しオブティカルフローを生じさせるためには、仮現運動が生じるような条件が満たされている必要があると考えられる。仮に各光点が完全にランダムに点滅を繰り返したとしたならば、そこに動きの情報を捉えることはできず、速度感覚は影響されないものと考えられる。

仮現運動が生じるにはいくつかの条件があり、それを端的に表したのがホルテの法則である。これは刺激強度、第一刺激・第二刺激間の時間間隔 SOA (stimulus onset asynchrony)、空間間隔 SS (stimulus separation) の 3 要素を元にしている。しかし、これはあくまで中心視野及びその周辺において適用されるものである。また、周辺視野においては、Baker らによって研究が進めているが [5]、いまだ詳細なことは分かっていない。

そこで、周辺視野において仮現運動を生じさせる LED の適切な距離配置 (SS)、点滅時間 (SOA) について、実験を通じて検証を行った。

### 4. 実験方法

実験は、被験者の右目位置から 40cm 離れた位置にディスプレイを設置した状態で、準暗室にて行う。ディスプレイの背景は黒く、ディスプレイの中心には、2 点の 1 cm 幅の白色点があり、ある一定時間 (SOA)、ある一定距離 (SS)、隔てて出現する映像が流れる。

被験者は映像内容を4段階で評価する。

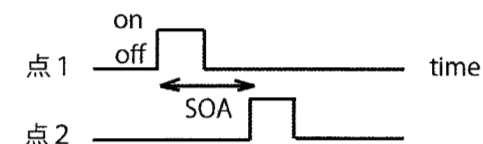
3: 点の動きは滑らかで連続しているように感じた(仮現運動)。

2: 点の動きをかなり感じた

1: 点の動きを少し感じた

0: 点の動きを全く感じなかった

実験は SOA5 段階 (50, 100, 150, 200, 300 [msec]), SS4 段階 (1°, 2°, 4°, 6°) の計 20 段階をランダムに行う。この行程を、右目視線方向に対して、ディスプレイを時計回りに 0°, 30°, 60° ずらした位置で、それぞれ行う (図 3)。



ディスプレイ画面

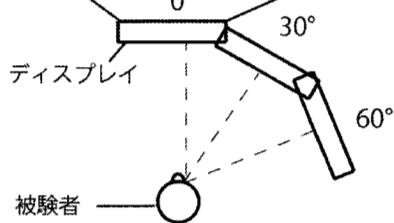
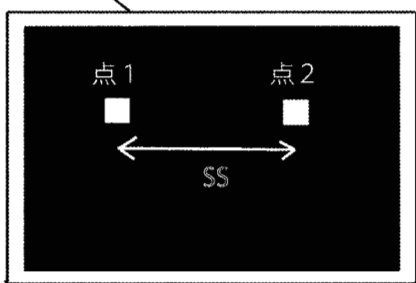


図 3. 実験方法詳細

被験者は 3 名で、ディスプレイは BenQ 社の 17inch を使用し、映像は OpenGL を用いて作成した。各被験者には左目に眼帯を着用させることにより、確実に右目単眼のみにより実験を実施する環境を整えた。実験時の様子を図 4 に示す。

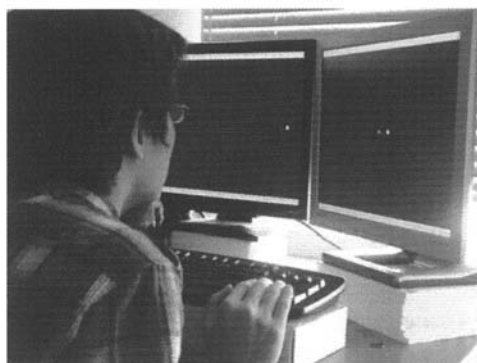


図 4. 実験風景

## 5. 結果及び考察

被験者 3 人の平均値を SOA の値毎にまとめた結果を以下に示す。

ディスプレイと視線の角度

● 0°      ■ 30°      ▲ 60°

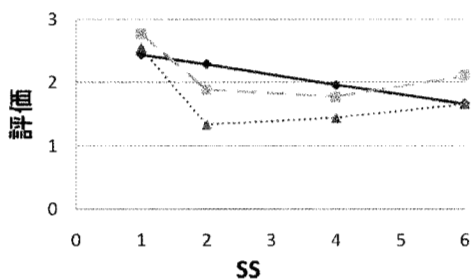


図 5. SOA=50 [msec]

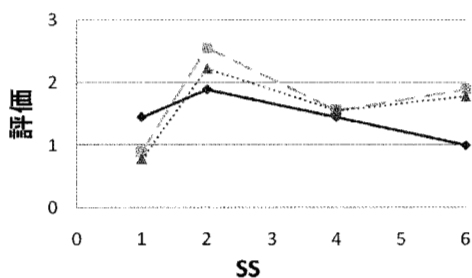


図 6. SOA=100 [msec]

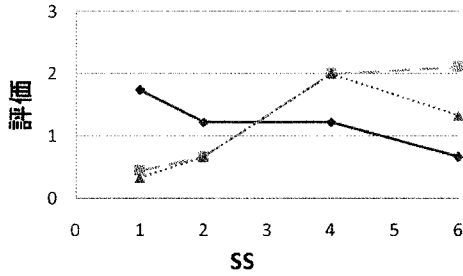


図 7. SOA=150[msec]

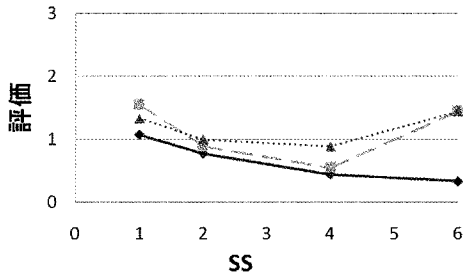


図 8. SOA=200[msec]

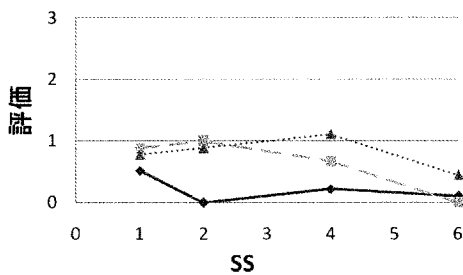


図 9. SOA=300[msec]

図 5～図 9 によると、SOA の値が大きくなるにつれて、仮現運動に対する評価が低下するという傾向が観察される。そしてそれは、SS の値には大きくは影響されていない様子もうかがえる。このことより、少なくとも SS が  $1^{\circ}$  ～  $6^{\circ}$  の範囲においては、仮現運動が SS よりも SOA に強く依存するものと推測される。よって LED 同士の間隔をある程度（視野角にして  $6^{\circ}$  程度まで）広くとったとしても、LED 同士の点灯タイミングの間隔が十分短ければ、仮現運動が生じ、オプティカルフローが生じる可能性があると考えられる。その一方で、刺激の提示位置による違い ( $0^{\circ}$  ,  $30^{\circ}$  ,  $60^{\circ}$  ) は明確には

確認されなかった。これにより刺激の提示位置の違いは仮現運動の有無に大きく影響しない可能性があるものと推測される。

最後に、参考としてある被験者 0 の、SS= $2^{\circ}$  の際の仮現運動の評価結果を図 10 に掲載する。図 10 では、点滅間隔が 100msec 程度に増大するまで、仮現運動に対して比較的高い評価が維持されていることがわかる。これより、評価 2 以上を LED の光点がオプティカルフローとして視認できる基準とするならば、LED の光点間時間は 100msec 以内に留めておくことが望ましいものと考えられる。

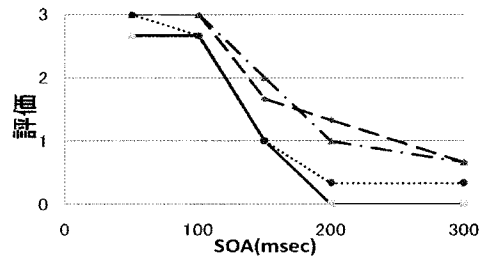


図 10. SS= $2^{\circ}$  での被験者 0 の結果

## 6. おわりに

今回我々は、パイロット支援を目的とした LED を用いた速度感覚増強提示手法を提案し、そのための仮現運動に関する基礎実験について報告した。今後は、実験結果から得られた知見を利用し、速度感覚増強提示装置の開発を進める予定である。

## 参考文献

- [1] C.R.Spitzer: "The Avionics Handbook", CRC Press, 2000
- [2] 大山 正・今井省吾・和気典二 編 新編感覚・知覚 心理学ハンドブック 誠信書房
- [3] 雑賀, 岡野, 橋本, 梶本, 野嶋: 周辺視ディスプレイを用いたフライトシミュレータにおける移動感の増強, 日本バーチャルリアリティ学会 第 12 回大会論文集, 2007
- [4] Baker CL Jr Braddick OJ. Eccentricity-dependent scaling of the limits for short-range apparent motion perception. Vision Res. 1985;25(6):803-812.