



# 脱・記号的インターフェース:動きの知覚情報によるデュアルタスクナビゲーション支援

東京大学大学院情報学環教授、ソニーコンピュータサイエンス研究所副所長 暦本純一

## 課題

従来の歩行ナビゲーションは、画面上の記号的指示に依存するため、ユーザーの視覚的注意を要求し、二次課題との両立を困難にする。本研究ではこの問題に対し、記号を介さず人間の「運動知覚」に働きかけるウェアラブル方向誘導手法を提案する。身体に装着したデバイスが提示する触覚等の運動知覚キューにより、ユーザーは視線を奪われずに直感的に方向を把握できる。実験評価の結果、提案手法は従来の視覚記号による誘導と比較して、ナビゲーション性能を維持しつつ、二次課題の遂行成績を統計的に有意に向上させることを実証した。本成果は、より安全で効率的なデュアルタスク環境を実現する非記号的インタラクションの設計に貢献するものである。

## 背景

モバイルコンピューティングとウェアラブル技術の普及により、誰もがどこでもナビゲーション支援を受けられるようになりました。しかし、現在主流となっている手法は、スマートフォンやスマートウォッチの画面上に表示される地図や矢印といった視覚的な「記号」に大きく依存しています。このパラダイムは、ユーザーに画面を頻繁に注視することを強いるため、本質的な課題を抱えています。

第一に、人間の視覚的注意 (Visual Attention) は有限なリソースであり、ナビゲーション情報と周囲の物理環境 (他の歩行者、障害物、信号など) がこのリソースを奪い合います。この競合は、ユーザーの状況認識 (Situation Awareness) を著しく低下させ、衝突事故などのリスクを高めます。第二に、この視覚への依存は、観光地で風景を楽しんだり、友人と会話したりといった、移動中に本来行いたい二次的なタスク (デュアルタスク) の遂行を妨げます。これは、記号を認識し、その意味を解釈し、行動に変換するという一連のプロセスが、無視できない認知的負荷 (Cognitive Load) をユーザーに課すためです。

したがって、本研究では、この「視覚記号への依存」という根本課題を解決するため、限られた視覚リソースを消費することなく、より安全かつ効率的にデュアルタスクを支援できる、新たなウェアラブルナビゲーションのあり方を問い直すことを目的とします。

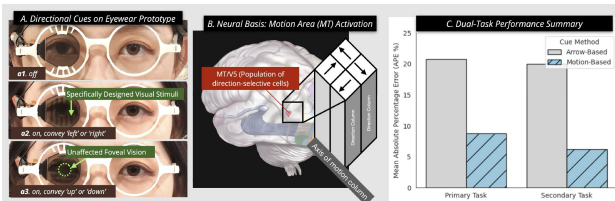


図1: この図は、私たちが開発した「動き」で方向を教える新しいシステムと、その性能を調べた結果の概要である。(A) 開発した装置を実際に使っている様子である。視界の端 (はし) の方で光のバーが動いて方向を知らせるため、視界の中心部分 (何かにぶつかる時に使う部分) の邪魔をすることなく、前をしっかり見ながらでも方向が分かる。(B) このシステムの脳科学的な仕組みを表した図である。視界の端から入ってくる「動き」の刺激が、脳の中にある「動き」を専門に感知するセンサー部分 (専門用語でMT野という) に直接働きかけるように設計されている。これにより、頭で考えなくても直感的に方向を理解できる。(C) 「ながら作業」をしてもった時の性能を比較したグラフである。従来の「矢印」で方向を教える方法と比べ、私たちが開発した「動き」で教える方法の方が、作業中のミス (専門用語でAPE: 平均絶対パーセント誤差) が平均して少なかったことが分かる。

## アプローチ

本研究では、記号の認知的「解読」プロセスを必要としない、より直接的で身体的な情報伝達チャネルとして、人間の「運動知覚 (Motion Perception)」能力に着目しました。これは、生物が進化する過程で獲得した、動きを素早く低負荷で検出・解釈するための根源的な能力です。

この原理を応用し、我々は運動知覚キューを生成するウェアラブルデバイスを設計・開発しました。プロトタイプは、手首や腰といった身体部位に装着するバンド型のデバイスで、その内部には複数の触覚アクチュエーター (超小型振動モーター) が線形に等間隔で配置されています。方向を指示する際には、これらのアクチュエーターを特定の時間パターン (例: 左から右へ0.1秒間隔で順次作動) で起動させます。これにより、ユーザーの皮膚上を何かが滑らかに「移動」していくかのような、明確な仮現運動感覚 (ファントムセンサーション) を生成します。

ユーザーは、この「動き」が感じられる方向へ直感的に進むだけでナビゲーションが可能です。この手法は、視覚を全く介さない完全なアイズフリー (Eyes-Free) を実現するだけでなく、記号解釈に伴う高次の認知プロセスをバイパスするため、認知負荷を最小限に抑えることができます。これにより、ユーザーは認知リソースを周囲の環境認識や二次課題へ自由に割り振ることが可能になります。

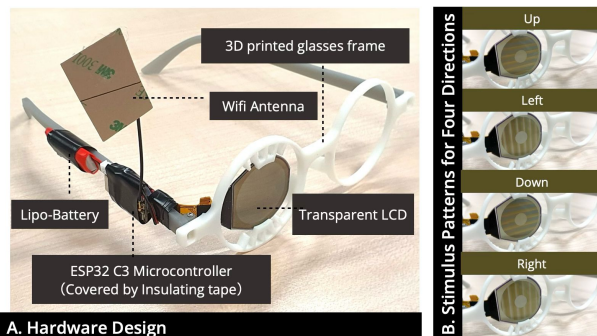


図2: これは、開発したウェアラブル装置の試作品と、そのディスプレイに表示される光のイメージである。(A) 装置の内部構造を示したものである。メガネの骨格となるフレームは3Dプリンターで作成した。右側のレンズ部分には、透明な液晶ディスプレイ (LCD) が組み込まれている。内部には、装置全体を制御する頭脳となる小型コンピュータ (ESP32-C3)、電源のバッテリー、そして無線通信のためのWi-Fiアンテナが搭載されている。(B) 透明ディスプレイに表示される「動き」のパターンを、コマ送りで示したものである。この光のバーが滑らかに動いて見えることで、脳が「動き」として認識する。ここでは例として、上下左右の基本4方向を、それぞれのような動きで伝えていくを示している。

## 結果と意義

提案手法の有効性を検証するため、従来の視覚記号 (スマートフォン画面の矢印) を統制群とし、歩行ナビゲーション (一次課題) と視覚的な認知課題 (二次課題) を同時に行わせるデュアルタスク実験を実施しました。

結果: 実験の結果、ナビゲーションのタスク完了時間や経路の正確性といった一次課題の成績においては、両手法間に有意な差は見られませんでした。しかし、二次課題の成績 (正答率、反応時間) については、本提案手法を用いた参加者の方が、統計的に有意に高いパフォーマンスを示すことが明らかになりました。また、実験後の主観評価アンケートにおいても、提案手法は「認知的負荷が低い」「周囲への注意を払いやすい」「より安全だと感じる」といった項目で、従来手法を大幅に上回る評価を得ました。

学術的意義: 本研究は、ウェアラブルHCI (ヒューマン・コンピュータ・インタラクション) において、従来の記号的情報提示の限界を克服する「知覚中心設計 (Perception-Centric Design)」の有効性を実証しました。運動知覚という情報チャネルが、特にリソースが競合するモバイル環境下で、極めて効率的であることを示し、今後の非記号的インタフェース設計に新たな理論的基盤を提供します。

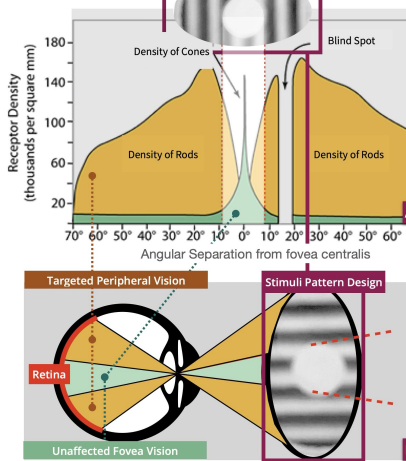


図3: これは目の仕組みに合わせて、光のパターンをどのように設計したかを示す図である。(A) 目の奥にある「網膜 (もうまく)」という部分の、光を感じる細胞の分布を示したものである。中心部には、細いものや色を見るのが得意な「錐体 (すいたい) 細胞」が密集している。一方で、その周りの周辺部には、光や動きに敏感な「桿体 (かんたい) 細胞」が数多く分布している。(B) 我々の光のパターンは、この目の仕組みを巧みに利用した設計である。動きに敏感な細胞が多く集まる「目の周辺部」を狙って動きの情報を提示する。これにより、物を見るために最も重要な「目の中心部」の邪魔を一切することなく、必要な情報だけを伝えることができるのである。



Junyu Chen 修士2年 (卒業)  
東京大学大学院情報理工学系研究科

Yifei Huang 特任研究員  
東京大学生産技術研究所

Jing Huang 博士3年生  
東京藝術大学大学院美術研究科



Thad Starner 教授  
ジョージア工科大学



Kai Kunze 教授  
慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科



暦本純一 教授  
東京大学大学院情報学環