

神奈川工科大学

ヒューマンメディア研究センター

研究報告

第 16 号

2020 年度

## 目次

- ・ 矢を使わない弓型インターフェースと身体性の関係の解析と応用  
情報メディア学科 安本匡佑
- ・ マルチモーダル・ビッグデータから感情に関する情報抽出のための基礎検討  
情報メディア学科 坂内祐一  
情報工学科 鷹野孝典
- ・ 医工連携による xR 医療教育コンテンツの開発  
情報メディア学科 小坂崇之
- ・ XR のための裸眼 3D ディスプレイ  
情報メディア学科 谷中一寿
- ・ 「まばたき」で視認できる高速ラインディスプレイの知覚原理の解明と最適化に関する研究  
ホームエレクトロニクス開発学科 奥村万規子
- ・ 各種室内音源の高精度位置推定・識別法とその応用基盤の構築  
情報工学科 田中博
- ・ プログラミング演習授業における適応型ヒント提示学習支援システムの研究  
情報工学科 鈴木孝幸、納富一宏
- ・ 視線解析による広視野HMDにおける視覚安全性の基礎研究  
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理
- ・ 不可視にコード化された光による情報ハイディングとその応用に関する研究  
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 海野浩
- ・ クラウド環境を利用したエンドユーザーの利用状況解析によるユーザ適応型インターフェースの作成支援手法  
情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田一

- ・デジタルファブリケーションによる造形物への情報埋め込み技術に関する研究

情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

- ・高効率駆動機構を備えた自転車の最適化研究

ロボットメカトロニクス学科 高尾秀伸

## 矢を使わない弓型インターフェースと身体性の関係の解析と応用

研究者名：所属学科 情報メディア学科 氏名 安本匡佑

### 1. 研究の目的（以下タイトルは、11 ポイント、MS ゴシック）

本研究はアーチェリー、アーチェリータグといった弓を使用し、広い空間が必要なスポーツを、室内の限られた空間においても本質的に同等、それ以上の体験を可能にすることが目的である。矢をつがえ弓を撃つことは強烈なリアリティが存在するが、それを限られた広さの室内で安全に再現することは困難である。故にそのリアリティのもたらす身体への影響を計測し、矢を使わずに別の方法でいかにして実現しうるのかを様々な生体計測で身体と弓の相互関係を模索する。まずは身体と弓の相互の情報を同時にリアルタイムに視覚化するシステムを構築し解析プロセスを容易にするとともに、アスリートに対してのフィードバックを行えるようにする。次に精度を維持し、矢を使わずに代替の刺激や機構でリアリティを感じさせることができるのかを、弓デバイスの制作、実験、検証を繰り返し行い探究する。

これまでも弓に関する作品の制作やそれに関する研究を行ってきた。研究の成果は SIGGRAPH をはじめとする著名な国際会議などでも採択されており、作品に関しては国内外での多数の賞を受賞し、国内外の大学での招待講演を行ってきた。しかしながら学術的な知見からより正確に、そして再現性のある実験などはあまり行ってこなかった。これはひとえにエンターテインメント分野やアート分野での成果であったため、それらが評価軸になっていなかったことが原因の一端を占める。またこれらの分野では再現性が求められず、感覚的な評価が多く他の視点での評価が難しいということもある。そこで本研究では、これまでに継続的行ってきた弓に関するインターフェースの研究を新たに推し進め、学術的に客観性のある評価をいかにして実施するかということが一つの焦点となる。本研究自体はこの評価を実施しうる課題であり、なおかつこれまでに知見のある弓インターフェースの HCI に関する領域において行うことで、これまでの研究成果に対する学術的な裏付けだけでなく、そこから得られる新たな知見を活用できる道筋を立てることが目標となる。ゆえに本研究では弓インターフェースにおいて、矢を使わずにこれまで実施してきたが、これを客観性のあるデータとして評価できるように複数の生体計測を用い、それらを完全に同期して実施することで得られるデータをもとにして、本物の弓と弓インターフェースの差異を明らかにするとともに、いかにすれば弓インターフェースでの体験を本物の体験に近づけていくことがで

きるのかを模索する。

本研究はアーチェリー、アーチェリータグ、弓道等の弓を使用し、広い空間が必要なスポーツを、室内の限られた空間においても本質的に同等、あるいはそれ以上の体験を可能にすることが目的である。矢をつがえて弓を撃つことは強烈なリアリティが存在するが、矢を発射し、それを限られた広さの室内で安全に再現することは困難である。故にそのリアリティのもたらす身体への影響を計測し、矢を使わずにそれを別の方法でいかにして実現しうるのかを様々な生体計測を行い身体とデバイスの相互関係を探りながら模索する。第一段階として身体と弓の相互の情報を同時にリアルタイムに視覚化するシステムを構築し解析プロセスを容易にするとともに、アスリートに対してのフィードバックを行えるようにする。次に精度を維持し、矢を使わずに代替の刺激や機構でリアリティを感じさせることができるのかを、弓デバイスの制作、実験、検証を繰り返し行い探究する。スポーツ科学に軸足を置きながら映像ではなく身体性を重視し、xR、HCI、生体工学の複数の分野にわたる研究である。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

ゲーム分野においてもハプティックデバイスに関する研究は盛んに行われ、特に xR 環境に合わせたシステムはゲーム系では国内最大級の CEDEC でも多数発表されている。装着するものとしては栗田らによる「空気圧人工筋を利用したウェアラブル力覚提示スーツ」、より簡易的なものでは山崎らによる「ネックレス型力触覚デバイス Hapbeat を用いた、首への力触覚提示によるゲームの臨場感向上手法の提案」などがある。手で保持するタイプの汎用性があるハプティックデバイスとしては長谷川らの「SPIDAR」、銃では StrikerVR の「ARENA INFINITY」があげられる。弓では Fontys University での HMD と弓の組み合わせによる VR があげられるが、弓も弦の動きも光学式モーションキャプチャを利用しているため設備が大掛かりで高価かつ場所の制約もある。エンターテインメント分野での研究が多いため、それを使用するプレイヤーの身体まで含めた分析を行う点で優位性がある。弓に限らずハプティックデバイス単体の評価が行われることはあるが、本研究のようにそれを扱うプレイヤーの全身及、指及び筋肉の動き、筋電、脳波、視線、心拍、道具の各部位にかかる力を統合して扱う研究は少なく、さらに矢を使わずにシミュレートしながらも本物の感触に近く高精度で室内でもデータ取得や可視化することは、エンターテインメントに限らず、トレーニング、HCI、スポーツ医学やリハビリ医療などの分野への応用も期待できる。本研究はスポーツ科学に軸足を置きながらも生体計測だけでなく、その結果をもとにそれをシミュレートできる弓デバイスの制作、計測、評価、改良のサイクルを繰り返していく複数の領域にわたる研究であり、探究的な性質を有している。

### 3. 期待される効果

アーチェリー等は矢を遠くの的に当てるため、距離を確保できる空間が必要となる。故に室内の限られた空間でも気軽に同等の体験を実現することには意義がある。本物は矢がセットであり、それを扱う筋力、技術、構え方から撃ち方、狙いを付ける動作などが必要となる。また弓の重量、射撃時の衝撃、弦の感触などが存在する。それを扱うのは人であり、筋肉の動き、脳波、心拍、視線が変化する。抽象度が上がると、これまでの研究である電子弓のように矢を使わないデバイス、kinect や ps move などの動きを入力としたコントローラ、最後に手に保持する汎用コントローラがある。抽象度の上昇に伴い、先に挙げた身体性要素の必要度は減少し、動きは簡易化した模倣であり、簡易さや安全性は上昇する。この時、人の身体に現れる反応は先のものとは異なっていると推測され、それがリアリティの減少となって表れる。近年は VR として HMD を利用することも多いがこれは、リアリティの減少を映像で補い、ハプティック要素の多くは単純な振動で代替している。弓に限らず多くの要素は現実の模倣と想像力の上に成り立っており、結果として現実の運動体験と HMD を用いたコンテンツでは求められる身体能力は乖離してしまう。ゆえに身体性に軸足を置くものが必要となるだろう。

身体と弓の関係性を円滑に探っていくためには完全に同期した複数同時の生体計測と視覚化までのフローをシステムとして構築することが望ましい。ゆえに lab streaming layer での計測器の同期、Unity を用いて可視化する。計測用途だけでなく、情報をリアルタイムにプロジェクターで提示できれば、それを利用した室内でのトレーニングも可能となる。

### 4. 研究の経過及び結果・評価

まず弓にかかる力の計測を行い、比較として競技用リカーブボウ、及び弓デバイスを使用し、既存の研究成果である電子弓を叩き台として使用した。被験者はアーチェリーのアスリートを対象として構えから射撃、着弾まで計測。全容を捉えるため高速撮影、全身の動き、心拍、筋肉活動量、視線、弓の各部位にかかる慣性力の計測を行う。

弓単独での計測も行い、弦の引き量、弦にかかる力、エネルギーの関係を弓の各部の慣性力、上下のリムの変形が伝わることで発生するグリップの歪から計算できるモデルを構築。競技用アーチェリーの上下リム取り付け部分に歪ゲージを装着し、それらを優先でマイコンに接続、上下のリムの歪を同時に計測し、その結果を bluetooth で PC に送信できるシステムを構築した。弓は人の手による差異をなくすために、安定した土台に固定できるようにし、毎回同じ引き量で弦を引く射撃実験を行った。またグリップにかかる力を計測するためにグリップ上部にこのマイコンを装着し、内部の IMU を使用することで射撃時にかかる衝撃を同時に測定可能とした。

次に矢の有無による衝撃や歪の変化を計測するために、矢を使用するが矢が飛ばな

いように固定装置を制作した。これにより矢の存在感を持たせるとともに、弦やリムに衝撃や歪を発生しにくくすることで、より本物に近い操作感が得られることを目論んだ。また比較として従来の矢を使わないモデル、矢を使用し発射し、前方の的で受け止めるモデルを比較して、それぞれのリムとグリップにかかる力を比較できるようにした。

## 5. 今後の計画

本研究は人の身体と弓インターフェースが相互にどのように影響を及ぼしているかが重要であるが、コロナの影響下により人を使った実験ができなかったため、今後状況が改善したのちに本システムをアーチェリー競技者と一般人での比較を含め、どのような違いが出るのか、ヒアリングやデータ分析を通してよりリアルかつトレーニングとして使用できるレベルのものを室内環境で構築することが今後の課題となる。

またしばらく人での実験ができないことを鑑み、本システムをベースとしたコンテンツ制作、より詳細なデータの取得のための改良などが必要となってくるだろう。

本研究では従来の弓デバイスの 10 ポンドのリムではなく、競技用の最も軽量な 14 ポンドの弓を使ったため、空打ちした際の影響や重量も課題として挙げられる、既存の競技用弓を計測用に改造するのは限界がると感じたため、以前の研究のように専用のデバイスとしてアルミを削り出して制作することも視野に入れる必要がある。

最後に本研究の成果の一部を基に 2021 年度の科研に採択されたため、引き続き本研究を進めていきたい。

## 6. 研究成果の発表

本研究成果は国際学会 HCII2020 にて論文” Possibility of Using High-quality Bow Interface in VAIR Field” [1]の発表を行った。

[1]Yasumoto M., Shida K., Teraoka T. (2020) Possibility of Using High-Quality Bow Interface in VAIR Field. In: Marcus A., Rosenzweig E. (eds) Design, User Experience, and Usability. Design for Contemporary Interactive Environments. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12201. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-49760-6\\_43](https://doi.org/10.1007/978-3-030-49760-6_43)

## マルチモーダル・ビッグデータから感情に関する情報抽出のための基礎検討

研究者名：

|          |       |
|----------|-------|
| 情報メディア学科 | 坂内 祐一 |
| 情報工学科    | 鷹野 孝典 |

### 1. 研究の目的（以下タイトルは、11 ポイント、MS ゴシック）

われわれは、常日頃から人に接するたびにその人の感情を推測することを行っており、そのために顔の表情や声、さらに仕草といったマルチモーダルなデータを用いている。本研究の目的は、文字（テキスト）・顔画像・音声に加え身体動作という複数のモダリティからなるビッグデータから、ユーザの感情としてコンテンツに対する興味を推定する手法を確立することを目的とする。

### 2. 研究の必要性及び従来の研究

インターネット上には膨大なコンテンツが存在し、コンテンツに対するユーザの興味を推定することは、優れたコンテンツの作成やマーケティングにおいて極めて有用である。これまで、ユーザ感情の極性分析、すなわち肯定的 (positive)、否定的 (negative)、中立 (neutral)) を分析する技術は、自然言語処理、画像認識、音声分析、身体動作分析などで行われている。代表的な研究として、6つの感情（怒り、嫌悪、恐怖、喜び、悲しみ、驚き）をベースとした表情の特徴を表す FACS(Face Action Coding System)を提唱し、心理学の分野などで広く用いられている。しかしながら抽出される感情は、マーケティングの分野で重要視される肯定的・否定的、興味あり・なしの軸とは必ずしも一致するわけではない。

### 3. 期待される効果

本研究により、動画コンテンツを視聴したり講義を聴いたりしている人の顔画像から、表情・音声・頭の動き・まばたき回数などのデータを統合的に扱って、肯定的・否定的あるいは興味あり・なしの感情を読み取り、動画コンテンツや授業の全体的評価につなげるだけでなく、コンテンツ内でどの部分が興味があったか・なかったかなど、コンテンツ中の部分的な評価にも結び付けられることが期待される。



#### 4. 研究の経過及び結果・評価

本研究では、ユーザのコンテンツに対する感情である、肯定・否定または興味あり・なしの指標として、FACS を異なる軸でとらえたラッセルの感情円環モデル（図 1）を基本に考える。図 1 のラッセルのモデルでは、第 1 軸が快・不快、第 2 軸が覚醒・非覚醒となり 6 つの感情が 3 つの象限に配置されている。

鑑賞する動画コンテンツの内容により引き起こされる感情は異なるため、動画のジャンルに応じた感情が引き起こされているかを調べる予備実験を行い、事前に予想していた感情が引き起こされていることを確認した。

次に動画のジャンルごとにユーザの観賞時の顔画像を撮影し、瞬間的な顔画像の特徴点抽出を行い、感情表出時の特徴点のパラメータを求めた。図 1 の第 1 象限に相当する動画では笑いの特徴が見られたが、第 2 象限の動画では「恐怖」と「驚愕」について特徴の違いを抽出するのが困難であり、第 3，4 象限の動画に対しては、表情が表出しにくいことが判明した。

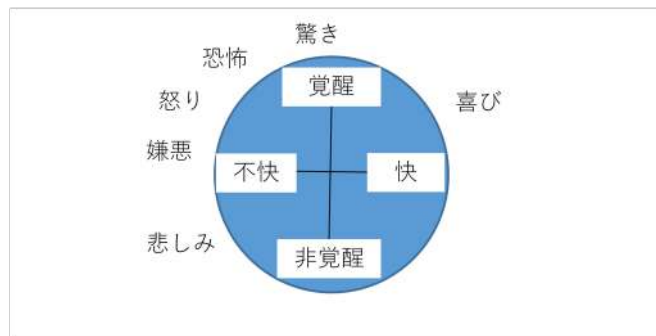


図 1 6 つの感情とラッセルの感情円形モデル

また、感性教育の観点から、アニメーション動画を視聴時の感情を身体動作として表現する学校授業を想定して、顔表情に加えて、身体動作動画から感情を抽出する試みを行った。動画共有サービスである YouTube (<https://www.youtube.com/>) からダンス動画を収集し、積極性を表す身体動作画像 1,680 枚、消極性を表す身体動作画像 1,680 枚を用いて、学習済み深層学習モデルである VGG16 を適用した転移学習により、身体動作画像から積極的な感情、消極的な感情を推定するモデルを構築した。前処理として、身体動作画像には、学習済み深層学習モデルである OpenPose による姿勢推定に基づいた姿勢リンクの描画を行った。実験結果として、身体動作画像から積極的な感情の推定精度は 88%、消極的な感情の推定精度は 67%となり、身体動作動画から積極性や消極性を表す感情を抽出する見込みを得ることができた。

## 5. 今後の計画

本年度の実験では映像視聴中の瞬間的な顔画像についての分析を行ったが、大きな表情変化が見られないことが多かったため、時間的な変化を含んだパラメータにより感情を推定することが必要である。またより多くのデータからラッセルの円環モデルの象限の特徴について検討し、ジャンルごとの動画やより多くの被験者の表情の収集と解析方法の検討が今後の課題となった。

身体動作表現については、バレエなどを対象とした感性表現分析手法などが見受けられるものの、ラッセルの感情円環モデルのような汎用的な感情モデルが少ない状況である。このため、同様に多くの被験者から身体動作データを収集・分類する作業とともに、身体動作表現を対象とした感情モデル構築方法を検討したい。

## 6. 研究成果の発表

鈴木 翔偉、ラッセルの感情モデルに基づく動画視聴者の定量的感情推定方法、2020 年度神奈川工科大学修士論文

HUYNH THI KIM CHI、身体動作表現による感情と意図の共有による協調合奏学習支援システムの実現に関する研究、2020 年度神奈川工科大学修士論文

Huynh Thi Kim Chi, Kosuke Takano, Kin Fun Li, A Color Adaptation Method in Picture Story with Emotional Expression of Body Motion. Proceedings of the 35th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, Vol. 3, pp.625-634, 2021

## 医工連携による xR 医療教育コンテンツの開発

研究者名：情報メディア学科 所属学科 氏名 小坂崇之

### 1. 研究の目的

教育分野において、受講者の理解の向上のため様々な試みが行われている。学習の基本となるのは、紙媒体の教科書である。教科書は授業中の教師の説明を補助し、予習復習などに重要な役割を果たしている。近年では、従来のイラストや写真では理解しづらい内容を動画やアニメーションによって伝えることで教育効果を高める目的で、タブレット端末による「デジタル教科書」を用いた教育も行われている。しかし、紙媒体の教科書と比べるとデジタル教科書やデジタル教育コンテンツ数が少ないのが現状である。また、教師の高齢化も問題になっており、デジタル教科書や、デジタルコンテンツを授業内で有効的に扱える教師も少ないのが現状である。デジタル教科書は、動画再生などにより、理解度の向上は期待できるが、テレビのように「一方的に見るだけ」である。つまり、視点を自在に動かして様々な角度から対象物を観測することはできない。決められた視点からではなく、現実空間での対象物を様々な角度から観測しそれに対してインタラクティブに CG 画像やテキストを重ねて表示することにより学習効果を高めることが期待できる。

本研究課題において拡張現実 (AR) と仮想現実 (VR) の xR 技術を利用し、タブレット端末や、スマホ端末のカメラで撮影した人物に心臓や肺、腎臓、消化器官などの 3DCG 臓器をリアルタイムに重ねて表示させる教育コンテンツの開発を行う。本学には工科大では珍しく看護学科を有しており、医工連携の研究が行いやすい環境である利点を生かし、開発したコンテンツを看護学科内の授業での活用を目指す。

### 2. 研究の必要性及び従来研究

大学のみならず、全ての教育現場において学生の学生意欲をいかに向上させるか、興味をどのように引き出すのか、教員にとって永遠の課題である。申請者は、これまでに妊婦体験システム MommyTummy や、胎動計測デバイスを開発している関係上、医療従事者、医療の教育者に接する機会が多い。他大学医学部教授に聞いたところ、「YouTube やゲームなどと育ってきた最近の学生に紙媒体の教科書、従来の学びでは、興味を引くことが難しく限界を感じている。動的なコンテンツでの授業をおこないたいが、医療従事者では、それを作成するプログラム能力や外注する資金もない」とのことである。一方、提案者は情報学部勤務しており、コンテンツ作成を行う能力を持ち合わせているが、単に医療系のコンテンツ作成

だけでは論文や業績とはならないのが現状である。しかし、教員の使命は研究だけでなく、より多くの学生に理解度の高い教材を提供するのも教員の使命であると思い立ち、本研究課題の申請を行った。

提案者はこれまでに、妊娠中の妊婦の腹部をカメラ動画で撮影すると、CG で作成された妊婦の妊娠数に対応した大きさの胎児を重畳して表示するシステムのプロトタイプを終えている。この技術を用いることにより容易に本研究課題を遂行できると考えている。

これまで教員は、従来の紙媒体の教科書のみならず、さまざまな教材を利用して教育を行っている。医療分野での「臓器の名前と位置」の教育を例に取って説明する。従来の教科書の写真やイラストだけは臓器の位置関係やサイズ感などの現実感がなく学習効果が低い。そのため各種教育機関では、実寸大の人体模型を実際に見せるなどの努力を行っている。また、特殊なエプロンを用いた教育もおこなれている。「内蔵の大きさ説明エプロン」は、内臓の名前と配置がプリントされたエプロンに、マジックテープで取り外し可能な内臓が張り付けられている。実際に着て、取り外ししながら説明することで、内臓の大きさや場所を生き生きとイメージすることを目的に制作されている。また、本学、看護学科では、臓器をプリントした T シャツを着て授業を実施している。

Curiscope は、拡張現実 (AR) と仮想現実 (VR) の技術を利用し、心臓や肺、腎臓、消化器官などの臓器をスマートフォンデバイスを用いて 3D 映像でリアルタイムに映し出す「Virtuali-Tee」という T シャツの開発している。従来の教材より人体構造を理解することができ教育現場での活用が期待されている。

本研究課題では、本学、看護学科向けの教育コンテンツの作成をおこなう。特殊な機材を必要とせず、カメラ付きのタブレット端末を用いる。対象となる人物をカメラ撮影することで、心臓や肺、腎臓、消化器官などの 3DCG 臓器をリアルタイムに重畳して表示させる教育コンテンツの開発をおこなう。

タブレット端末のカメラを用いて対象となる人物を撮影する。撮影されたカメラ画像からカメラ位置、サイズなどを計測し、人物のサイズに調整された 3DCG の臓器画像を、撮影者のタブレット端末に重畳表示する。カメラ位置を移動しても追従して表示することができ、さまざまな角度から臓器を確認することができる。

### 3. 期待される効果

本研究課題は、Virtuali-Tee と同様にカメラ画像に CG 画像を重畳して表示することで、教育効果の向上を目指す。しかし、Virtuali-Tee で表示される CG 臓器の動きは、あらかじめ作成された同一の動きのみである。本研究課題では、被験者、カメラ被写体者に、呼吸センサや、脈拍センサを装着することで、呼吸による肺の伸縮や脈波を動的に反映することができ、教育効果の向上が期待できる。

### 本研究課題の特徴、独創的な点を挙げる

- 特殊かつ高価な機材を必要とせず、カメラ付きのタブレット端末を用いることができる。学生の持っているスマートフォンデバイスでの動作も可能である。
- xR(VR, AR, MR) 技術は情報工学分野では周知の技術であり、単にコンテンツを作成しただけでは、新規性がない。しかし、一般的に研究成果が実用化されるまで5〜10年かかるとも言われており、研究分野から一歩離れた民間や一般には xR を用いたコンテンツはあまり浸透していないのが現状である。申請者のような第一線で活躍する研究者が、医療分野に特化した xR コンテンツを作成することにより、実用化までの期間を大幅に短縮することが期待できる。
- 本学では、従来の工科系大学には珍しく健康医療学部看護学科を有しており、医工連携を容易に行うことができる。本研究で得られた成果物を実際に看護学科内の授業に用いることで迅速なフィードバックを得ることが期待できる。
- 実画像とCG画像の重畳は、HTC, Inc. の Vuforia 技術を用いる。Vuforia は様々なプラットフォームに対応しており、コンテンツ作成を迅速かつ容易に行うことができる。従来、実画像とCG画像の重畳表示には、カメラ処理、位置合わせなどの処理は、自前でプログラムする必要があったが、Vuforia を用いることで迅速にプログラミングを行うことが可能である。
- 医療コンテンツにおいて、最大のネックとなるのが、臓器などの 3D モデルデータである。提案者は、3DCG ソフトウェアの扱いに熟知しており、臓器モデリングの経験も豊富である。また、インターネット上では、さまざまな人体モデルデータを販売しているサイトが多く存在している。それらのデータを購入することでコンテンツ制作を迅速に行うことが期待できる。

### 4. 研究の経過及び結果・評価

今年度は、臓器の名前、位置を学習する臓器学習コンテンツの制作を終えた。カメラ付きタブレット端末を用いて、特殊タグがプリントされた T シャツを着用した人物を撮影することで、3DCG 臓器を実画像と重畳して表示する。制作したモデルは、心臓、肺、胃、脾臓、すい臓、胆のう、腎臓、小腸、大腸、膀胱の 10 種類と、骨格である。カメラで撮影された特殊タグのサイズに応じて 3D モデルのサイズを変化させている。タブレット端末の操作により、各種臓器の表示、非表示を切り替えることにより臓器の名前、位置の学習効果が期待できる。しかし、COVID-19 の影響で学生を用いた評価実験を行うことができていないのが現状である。

## 5. 今後の計画

今年度開発をおこなった「臓器学習コンテンツ」の現在は Android 端末のみであり今後は、iPhone 端末での開発も行う予定である。また、制作した臓器学習コンテンツ内で表示される臓器の動き（例えば心臓）は、予めプログラミングされた同一の動きでアニメーション表示される。つまり撮影対象者が大人から子供に変わったとしても心拍数は同じにアニメーションされる。一般的に成人男性は 60～70BPM、子供は 90～110BPM とされている。これらの変化もコンテンツに組み込むことで、再現率の向上、学習効率の向上が望まれる。そこで、撮影対象者に心拍センサや、脈拍センサを装着することで、その動きをアニメーションに表示させることが可能となる。また Microsoft 社の Kinect や intel 社の RealSense を用いることで、非接触で呼吸、心拍センシングを行うことも可能であると考えている。

また、COVID-19 が終焉し安全が確認されたのちに、実際に看護学科内の授業に用いる予定である。教員、学生からのフィードバックを得て改良を行う予定である。

## 6. 研究成果の発表

COVID-19 の影響で、評価実験などを行うことができていないのが現状である。

## XRのための裸眼 3D ディスプレイ

研究者名：情報メディア学科 谷中 一寿

### 1. 研究の目的

我々が日常生活生している現実空間に加え，コンピュータ内に作られた仮想空間が拡大しつつある。仮想空間のみを体験するのが VR（仮想現実）であり，仮想空間と現実空間と重なっていれば AR（拡張現実）または MR（複合現実）であり，これら 3 者は XR と総称される。いずれの場合でもディスプレイは仮想空間と現実空間とのインターフェースとして重要である。ヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下 HMD と略す) を用いる方式では，通常，両眼視差による立体表示が提供され，高い没入感が得られる利点があるが，その反面，重量感，圧迫感，実空間の視野の狭さなどの問題がある。HMD のかわりに裸眼 3D ディスプレイを用いれば，利用者は何も装着しなくて良い。裸眼 XR は通行人にも使って頂くことができ，非接触のため衛生面でも有利なので，手術室や調理室にも向いている。本研究ではそのような新しい裸眼 3D ディスプレイシステムを構築することを目的とする。

### 2. 研究の必要性及び従来の研究

裸眼 3D ディスプレイの中でも 1908 年にリップマンが提案した IP (インテグラルフォトグラフィ, Integral Photography) は，水平方向だけでなく垂直方向にも視差がある点でホログラフィにも似た優れた特徴を有する方式である。従来は高精細液晶ディスプレイ (LCD) と，レンズピッチが LCD の画素ピッチの整数倍であるようなフライアイレンズが必要であった。この条件が偶然に満たされる可能性はほぼゼロなので，LCD の仕様に合わせてフライアイレンズを特注する必要があった。これは少量生産の場合，非常に高価なものになってしまう問題があった。筆者が提案した拡張フラクショナルビュー (EFV) 方式を用いれば，図 1 に示すようにフライアイレンズのピッチと LCD の画素ピッチの比率が整数に限定されないで，安価な既製のフライアイレンズで IP を実現することができる。しかしながらこの方式をミクストリアリティに適用するには，

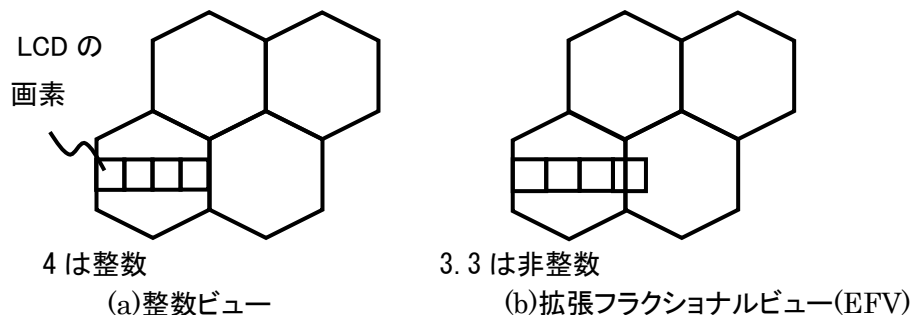


図 1 整数ビューと拡張フラクショナルビューの違い

立体表示の飛出し量の増大や大画面化をはじめ、ゲームエンジンを用いた立体視コンテンツ制作法の確立、ビデオシースルーに向けた実写 IP 画像の入力など、解決すべき課題が残されているので、さらなる研究が必要である。

### 3. 期待される効果

本研究によって、従来 EFV 方式で実現されてきたものよりも飛出し量を多く確保でき、仮想空間と現実空間が重なる領域が広がるので、インタラクションが容易になる。また、ユーザの操作に応じて実時間で立体表示された物体を動かすことができるようになる。それにより、バーチャルリアリティやミックスリアリティなど、人とコンピュータがより自然にインタラクションを行うことが要求される用途に適用できるようになる。

### 4. 研究の経過及び結果

令和 2（2020）年度には、民生用ライトフィールドカメラを使用してキャプチャされた RAW 画像からの IP 画像の合成[1]を行った。

#### 4. 1 概要

IP を実写で作成する場合、通常、大規模なカメラシステムが必要になるが、本研究は持ち運び容易な市販のライトフィールドカメラで IP 画像を撮影しようとするものである。ライトフィールドカメラではマイクロレンズアレイを高解像イメージセンサーに積み重ねることで、入射光の強度と方向を記録できるが、ライトフィールドカメラで取得した RAW 画像をそのまま IP に使用することはできない。そこで本研究では画像間の変換を導入する。

#### 4. 2 原理

図 2 は、実写ベースの IP 用の単純な撮像および表示システムを示す。撮像時、実際の 3D オブジェクト（この図では猫）から出た光は、中央に配置されたライトフィールドカメラのフライアイレンズを通過し、イメージセンサーの各画素に入り、電気信号に変換される。これをデジタルデータに変換したのが、RAW 画像である。

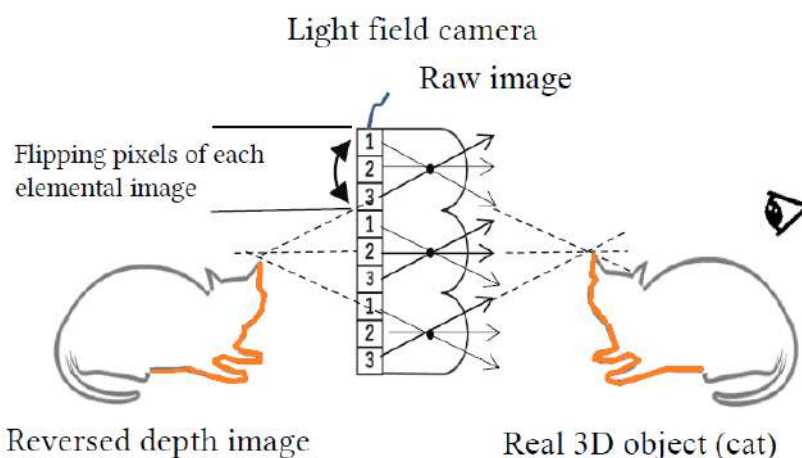


図 2 要素画像内の画素の入れ替えによる奥行き反転



ライトフィールドカメラのイメージセンサーの各画素は、実際は光を受け取るだけであるが、思考実験として、そこから受け取った光が出ていると仮定する。光は各画素から出てハエの目のレンズを通して空間全体に広がる。可逆性の原理に従って、光は撮影時に移動したのと同じ経路を反対方向に進み、元のオブジェクトの位置に到達する。ただし、元のオブジェクトは存在しないため、ライトはさらに直進する。観察者がいる場合、光は実際にはイメージセンサーの画素から来ているが、観察者は、光がオブジェクトが最初に配置された位置から来ていると感じるので、観察者は、空の空間で立体画像を知覚する。

ただし、この方法にはいくつかの問題がある。

第一に、ライトフィールドカメラは、そこから観察可能な実際のオブジェクトの表面から放出された光のみをキャプチャするが、表示時には、画像は反対方向から観察する。そのため、裏側から見た仮面のように、奥行きが反転した不自然な画像が見える。この問題は、図2に示すようにIP画像の各要素画像内で画素を垂直方向と水平方向に反転させることで解決できる。

第二に、撮像時と表示時では、一般に異なるフライズアイレンズが使われるので、その違いを吸収しなければならない。また、IPで強い立体感を得るためには、オブジェクトの一部がスクリーンより飛び出し、一部が沈み込むことが望ましい。

上記の問題を解決するために、図3に示すような仮想的なIPディスプレイを追加しライトフィールドカメラの各画素から放出される光を、追加したIPディスプレイの各画素から放出される光に置き換える。

図3において、IPディスプレイの画素Pから出た光は、曲率Cの最も近い中心を直進し、ライトフィールドカメラのレンズ3に到達する。レンズ3から放出される光線は、光線1、2、および3である。3つの光線の中で、光線1は光線Pに最も平行である。したがって、光線1の光源である画素Qの値として画素Pの値が設定される。この手順は、IPディスプレイのすべての画素値が決定されるまで繰り返される。ライトフィールドカメラに含まれる情報は、この手順を使用してIPディスプレイに転送される。

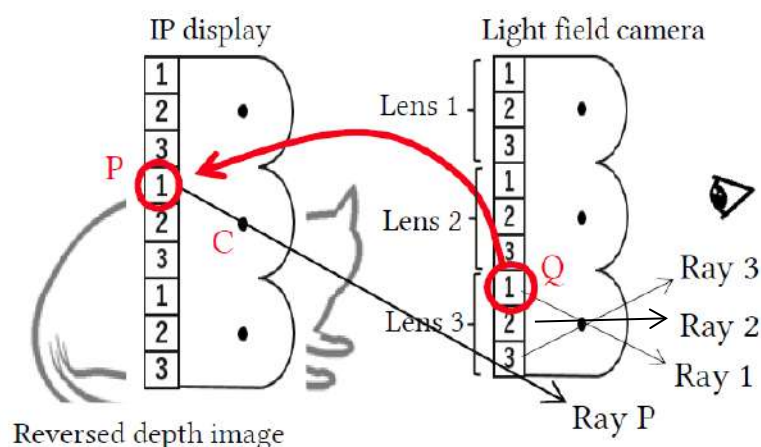


図3 仮想的なIPディスプレイへの移し変え

この処理が終わると、図4に示すように、ライトフィールドカメラは不要になるので取り除く。以上の説明で、わかりやすくするために整数ビュー方式を使用しているが、提案手法は、凸レンズあたりの画素数が非整数である拡張フラクショナルビュー方式を採用した場合でも適用できる。

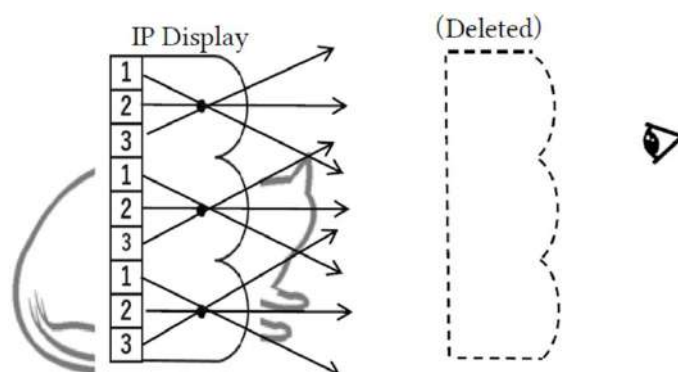


図4 不要になったライトフィールドカメラを削除して完成

#### 4. 3 実験と結果

市販のライトフィールドカメラ **LytroA1** を使用した。カメラから **RAW** データを取得するために、カメラを **USB** 経由で **PC** に接続し、**LytroDesktop** というアプリケーションを実行した。ヘッダーと画像データの部分は自動的に分離できなかったため、手動で分離した。最終的に得られた **IP** 画像を **PC** 画面に表示し、フライアイレンズを重ねて観察すると、図5に示すように立体表示ができた。



図5 3D画像の表示

#### 参考文献

[1] Kazuhisa Yanaka, Toshiaki Yamanouchi, Synthesis of Integral Photography Images from Raw Images Captured Using a Consumer Light Field Camera, Proceedings of the 6th World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Sciences (EECSS'20) Virtual Conference – August, 2020, Paper No. MHCI 106, 2020.

## 「まばたき」で視認できる高速ラインディスプレイの知覚原理の解明と最適化に関する研究

ホームエレクトロニクス開発学科 奥村万規子

### 1. 研究の目的

本研究では、「まばたき」や視線移動で生じる高速な眼球運動（サッカード）中に、点滅する光点列の残像に奥行きや動きを持たせて人に知覚させ、情報の 2.5 次元提示を行うラインディスプレイ装置を開発する。また、その知覚原理の解明と視認に関する最適値を見つけることを目的とする。

### 2. 研究の必要性及び従来の研究

観測者が、1 次元の光点列上を通過して視線を移動する間に、表示情報を縦に分割して高速に点滅させると、点滅パターンが空間に展開され、網膜上に 2 次元の情報が知覚されることが知られている。しかし、視線を移動するタイミングや知覚できる条件には個人差があり、安定して情報を視認することが難しい。これに対して、網膜再帰反射を利用したサッカード検出手法や、眼鏡型のサッカード検出器などが提案されているが、これらは観測者が検出用装置を装着しなければならない。

### 3. 期待される効果

本ディスプレイは、観測者が検出器を装着せずに、情報が空間に提示されるので、省エネ・省スペースで、広告用やエンターテイメントなど幅広い分野での応用が期待できる。また、空中に浮かび上がる画像サイズは、縦方向は装置の長さで決まるが、横のサイズは点滅周期の高速化により、広げることが可能であることも本ディスプレイの利点である。

### 4. 研究の経過及び結果

- (1) まずは、LED32 個を用いた 256 階調ラインディスプレイを製作し、知覚感度を考慮した表示に関する評価実験を行った。製作したラインディスプレイは、LED16 個で情報提示を行うユニット基板と、割り込み信号の生成、ユニットへの電源供給を行う親基板から構成した。LED32 個を表示部とするため、ユニット基板は 2 枚使用し、親基板で生成した割り込み信号により同期を取った。これにより、安定した動作を実現することができた。また、Arduino uno を書き込み装置として使用することにより、AVR マイコンを実装したまま表示画像の書き換えを行えるようにした。評価実験では、知覚感度を考

慮した画像データについて、75%が知覚感度を考慮した画像の方が見やすいと答えた、これらの結果から、知覚感度を考慮した表示画像生成は有効であることがわかった。これらの成果は論文[6]で発表した。

- (2) 次に、(1) で開発した 16 個の LED を駆動する基板を 4 枚接続し、割り込み信号を生成する回路で構成したラインディスプレイを製作した。構成図を図 1 に示す。これにより、LED64 個を 256 階調で点滅可能なラインディスプレイを製作できた。図 2 は製作したラインディスプレイで、図 3 は点滅動作中のラインディスプレイの写真である。これらの成果は論文[2]で発表した。

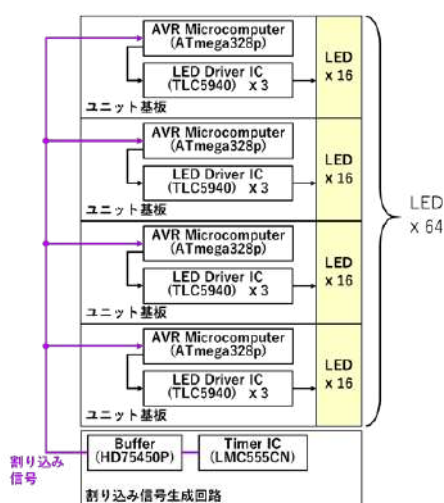


図 1 ラインディスプレイの構成

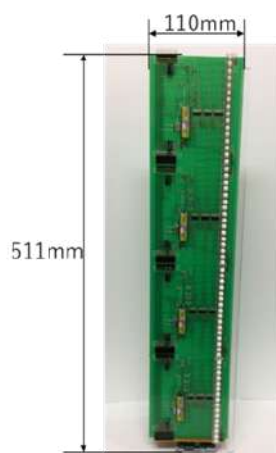


図 2 ディスプレイ



図 3 動作中の写真

- (3) (2) で開発したラインディスプレイを使って、2 種類の評価実験を行った、1 つは知覚感度に関する実験で、知覚感度補正を行うことにより画像の知覚が向上することがわかった。また、空間周波数を変化させた評価実験を行い (図 4)、表示画像の空間周波数による知覚への影響は二次元ディスプレイと似たような傾向であることが分かった (図 5)。これらの成果は論文[5]で発表した。

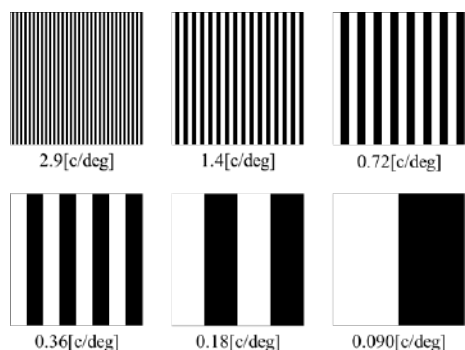


図 4 6 種類の空間周波数の矩形波格子

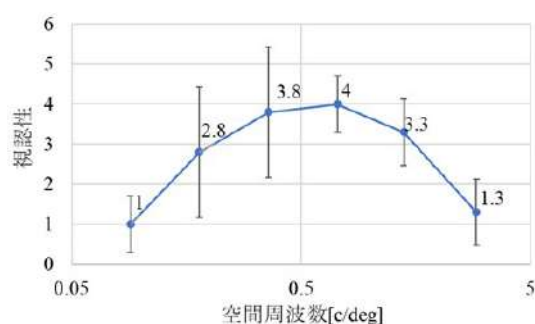


図 5 空間周波数に対する視認特性

(4) 一方、階調は多くないが、高速に点滅するラインディスプレイの開発も行った。CPLD と PIC マイコンを用いてラインディスプレイを製作し、データ転送時間が  $20\mu s$  と高速化が実現できた。点滅周期と最適な視覚距離を実験で評価したところ、画像を知覚しやすい最適な点滅周期と距離の関係は点滅周期が速いほど距離が遠く、点滅周期が遅いほど距離が短いことが分かった。図 6 に CPLD を使って LED16 個を駆動する基板の構成図を示す。図 7 に点滅周期と最適な視覚距離との関係を示す。これらの成果は論文[1]で発表した。

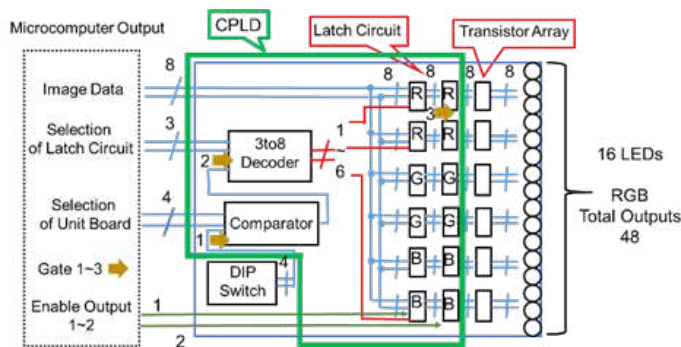


図 6 16 個 LED 駆動回路の構成図

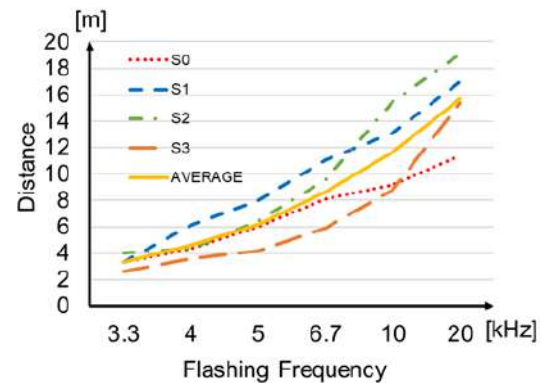


図 7 点滅周波数と最適な視覚距離との関係

## 5. 今後の計画

これまでに表示デバイスを開発し、主観評価実験により、視覚しやすい画像や点滅周期と視覚距離との関係を明らかにしてきた。さらに、知覚原理の解明のためには、眼球運動を正確に測定する必要がある。そこで、今後は、サッカード中の眼球運動について、ドイツの研究所 PuPIL Lab. が開発した装着型眼球運動測定装置を使って検証する。これまでに行った知覚実験では、指標により眼球を移動させていたが、今後は実際の眼球の動きを正確に測定した上で主観評価実験を行う。ディスプレイの実用化に向けた高速、大規模化と並列し、さらなる知覚原理の解明を行う。

## 6. 研究成果の発表

### ・国際学会発表（査読有）

[1] Naoki Kawasaki, Yuuki Machida, Takayuki Misu, Keiichi Abe, Hiroshi Sugimura, Makiko Okumura “A Study on the Increase of Perceivable Information in the Saccade with High Speed Line Display” , The 27th International Display Workshops Dec. 2020.

[2] Yuuki MACHIDA, Naoki KAWASAKI, Takayuki MISU, Keiichi ABE, Hiroshi SUGIMURA,

Makiko Okumura, “ Verification of Visibility Improvement by Perceptual Sensitivity Correction in Line Display,” 2020 IEEE 9th Global Conference on Consumer Electronics(GCCE).

- [3] Naoki KAWASAKI, Kyohei WAKABAYASHI, Takayuki MISU, Keichi ABE, Hiroshi SUGIMURA, Makiko OKUMURA, ” Development of High Speed Flashing Line Display Using Eyeball Movement” , 2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics Proceedings(GCCE2019), pp. 1-2, Oct. 2019.

・国内口頭発表

- [4] 秋山和輝 菅野広貴 熊木亮 町田優希 川崎直紀 奥村万規子,” ラインディスプレイにおける奥行き知覚に関する検討” , 2021 年 電子情報通信学会総合大会, C-9-8, 2021 年 3 月 11 日.
- [5] 町田優希, 川崎直紀, 奥村万規子, ”ラインディスプレイを用いたサッカーボール時における視認特性に関する調査” , 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス & システム(CDS)研究会, Vol. 2021-CDS-30 No. 20, 2021 年 1 月 26 日.
- [6] 町田優希, 川崎直紀, 若林恭平, 奥村万規子, “LED64 個を用いた多階調表示可能なラインディスプレイの開発”, 情報処理学会第 82 回全国大会, 4J-06, 2020 年 3 月 6 日.
- [7] 町田優希, 三栖貴行, 安部恵一, 杉村博, 奥村万規子,” モノリシック LED ドライバを用いた多階調表示可能なラインディスプレイの開発” Development of multi-gray scale line display using monolithic LED drivers, FIT2019 (第 18 回情報科学技術フォーラム) , CM-004, 2019 年 9 月 3 日.
- [8] 川崎直紀, 若林恭平, 三栖貴行, 安部恵一, 杉村博, 奥村万規子, “眼球運動を利用した高速ラインディスプレイの開発と点滅周期の最適化” Development of Printed Circuit Board for High Speed Line Display Using Eyeball Movement And Optimization of Flashing Period, 情報処理学会研究報告, コンシューマ・デバイス & システム(CDS)研究会, Vol. 2019-CDS-26 No. 9, 2019 年 8 月 30 日.

以上

# 各種室内音源の高精度位置推定・識別法とその応用基盤の構築

情報工学科 田中 博

## 1. 研究の目的

位置情報はナビゲーション、情報提供や物流管理などに利用され、極めて有用な情報である。屋外での位置情報取得手段としてはGPS/GNSSがすでに広く普及し、事実上の標準システムとなっている。一方で、屋内での位置検出手法である屋内測位に関しては、様々な方法が提案、検討、一部実証されているものの普及しているものはない。

筆者らは適用領域の拡大を目標に、これまで音源として用いてきた超音波や拡散音源以外の任意の音源の位置の検出方法の検討に2018年度から着手した。ここで、検討しているシステムは音をセンシングする構成であり、ソフトウェア処理により音の識別の機能を実装することも可能である。同様に2018年度から室内音源の識別手法の検討に着手した。これらを通して、音を用いた測位、通信、識別機能を実現し、知的な空間を構成するための要素技術の確立を目的として進めている。

最終的には確立した要素技術をプラットフォームとしての基盤化を実現し、多様な応用システムへの展開を可能にする。さらに具体的事例として、実用的なアプリケーションシステムを構築、デモンストレーションによりその有効性を実証する。上記と並行して、ヒューマンメディア研究の一環として、聴覚障がい者を支援するための手話の自動翻訳の実現への寄与を目的とした手話動作に識別方法の研究も並行して行っている。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

音は電波に比較し、伝搬速度が小さく、正確なクロック制御が不要で高精度な測位が可能である。電波はクロック誤差やマルチパス伝搬の影響が残り、通常の測位では数m程度の測位誤差となる（GPS/GNSSと同等のシステムを室内で実現するのは非現実的）。また、加速度センサなどの慣性センサを用いたものは、誤差蓄積の影響を排除することができず、別の方式との併用が必須であり、その意味で高精度測位が可能な音を用いた測位技術を開発する意義がある。

一方、環境音の識別という意味では、雑音除去技術を含めて、多様な音源の識別、雑音環境下での高精度な音源識別の研究が行われている。音による測位と音の識別は、その検出デバイスであるマイクセンサは共有可能であるものの、独立した研究、適用となっており、“音の潜在能力”を大きく展開する研究にはなっていない。

## 3. 期待される効果

音として測位への利用とともに、環境音の識別による生活の間接的モニタ、見守りへの応用がある。前述のとおり音の検出デバイスであるマイクセンサは共有可能であり、ソフトウェア処理によって多様な機能を実現し、知的な環境を構成することが可能となる。マイクセ



ンサを起点として、多様な機能を実現、統合した研究事例は筆者らの知る限り見当たらず、この点を可能とする意義は大きいと考えられる。合わせて、プラットフォームとしてその上  
に実証システムとして実現し、単なる学術的な成果という観点ではなく、有用性の実証も行  
うことにより、より開発技術の効果を明らかにできる。

#### 4. 研究の経過及び結果・評価

2020 年度は音源識別精度を確保するための雑音除去の観点から、以下の検討を行った。

##### (1) 雑音除去効果の評価手法

基本的に雑音除去の効果は、除去前後の音を実際に聴いて比較するのが基本である。この方法では個人差があり、正確を期するためには一定数の評価者が必要であり、負荷も大きい。除去前後のデータに対して STFT (Short Time Fourier Transformation) を適用し、雑音加わる前の音との正規化相互相関を求め、その差から雑音除去の効果を定量的に評価する方法を提案した。本検討結果は、2020 年度の電子情報学会のソサイテティ大会、総合大会で発表した。本手法による評価と識別結果との確認が今後の課題である。

##### (2) 雑音除去による音声認識処理性能の向上

電車内、雑踏などの雑音環境下で音声認識性能が低下する。筆者らは、他の方法で雑音源が分かることを前提に、雑音源を絞った雑音除去モデルを DAE で作成し、人、雑音の音源データベースとオープンソースの高性能な汎用大語彙連続音声認識エンジン Julius を使用して、雑音除去法の適用による音声認識精度への効果を検討した。その結果、汎用性の観点での制約はあるものの、提案手法による音声認識精度向上への効果があることを確認した。その結果を電子情報通信学会 SeMI 研究会に投稿した (2021 年 4 月。発表は 5 月)。

##### (3) 画像処理技術を適用した雑音除去手法

筆者らは、雑音除去手法として従来から適用されている SS 法 (Spectral Subtraction) 法、DAE (Denoising Auto Encoder) 法、MAP 法 (Maximum A Posteriori) 法を適用して検討してきた。2020 年度は新たに、同学科 宮崎研究室の協力を得て、ネットワークモデルの一つである UNet モデルを用いた雑音除去法の適用に着手した。

これは音源データを STFT によって画像に変換し、UNet モデルを適用して雑音成分を除去し、その後、画像から音声に戻す手法である。一次検討の結果では、一定の性能を確保できたので、今後詳細な検討を加える予定である。

##### (3) 手話動作識別

2019 年度まで検討してきた、AlexNet などの学習済みモデルを用いた特徴抽出とそれらの結果を組み合わせることによる識別精度の向上、少ない学習データの Augmentation による識別精度の向上の結果を 2020 年 7 月の国際会議 (HCII2020、オンライン開催) で発表した (論文添付)。

2020 年度は新たな手話動作データの取得が難しい状況であったため、既存のデータを用いて新たな手法に取り組んだ。具体的には、従来の色領域抽出による手話動作検出に代えて、



OpenPose を用いて取得した手話動作時の座標データから特徴量の抽出方法を検討し、LSTM によって動作識別を行い、精度評価を行った。その結果を 2021 年 7 月にオンラインで開催の国際会議（HCII2021）に投稿し、採択された。

## 5. 今後の計画

2021 年度は以下の項目に注力して検討を進める。各種音源による位置検出については、さらなる高精度化が一つの検討対象であるが、人的リソースや精度評価のための環境構築等を鑑みると困難であると判断した。

### (1) 雑音環境下での音源識別・音声認識

#### (1-1) 画像処理技術を用いた音源からの雑音除去

DAE よりも UNet を用いた方が高い雑音除去効果が期待できそうである。UNet を利用するための環境を整えるとともに、UNet の利用で可能となる画像の処理技術を適用し、その効果を確認する。STFT のパラメータ変更による Data Augmentation、その他の方法を検討し適用する。

#### (1-2) 上記技術の適用と有効性の検証

昨年度に引き続き、2 方向からの検討を継続する。一つは電車内、雑踏などの雑音環境下、地域の防災無線などの残響環境下での音声認識精度の確保、他方は室内の多様な音源が存在する中での各音源の識別である。必要性の観点もあるが、自分たちの獲得技術が得意とする領域を見極め、その方向の検討を深め、デモシステムを構築することも検討する。

### (2) 手話動作の検出と識別

#### (2-1) OpenPose データからの識別

2020 年度は OpenPose で取得した座標データに対して LSTM によって動作識別を行った。より学習データが少なくても一定の識別精度が期待できる SVM、k-NN などの手法を適用する。また、それらのアンサンブル学習による精度向上を試みる。カメラ内蔵のタブレットによるデモシステムの構築についてもリソースに応じて検討を進める。

#### (2-2) 加速度センサの利用と識別精度の評価

OpenPose は 2 次元での動きの検出であるのに対して、加速度センサでは 3 次元での検出が可能であり、オクルージョンの問題も回避できる。同学科 川喜田研究室と連携し、新規開発の加速度センサによってモーションキャプチャリングし、そのデータを用いた動作識別を行い、その可能性を検討する。

#### (2-3) 単語動作の識別から短文動作の解釈へ

これまでは、単語の動作の識別に限定していた。識別手法として一定の精度の確保はできつつある。この状況を鑑み、使用頻度の高い短文の手話動作の解釈についての検討に着手する。手話実利用者の意見のヒアリング、言語モデルの取り込みの検討から進める。

## 6. 研究成果の発表

上記遂行によって、2020 年度に発表した論文を以下に示す。

- (1)K. Kawaguchi, Z. Wang, T. Kuniwa, P. Daraseneeyakul, P. Veerakiatikit, E. Ohta, H. Nishimura, and H. Tanaka, “Experimental Study on Improvement of Sign Language Motion Classification Performance Using Pre-trained Network Models”, Human-Computer Interaction International(HCII), LNCS 12185, pp.433-446, 2020
- (2)村上 史尚, 佐野 将太, 川喜田 佑介, 田中 博, “室内音源識別のための前処理としての雑音除去性能の比較実験”, 2020 年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, B-15-30, p. 200
- (3)村上 史尚, 佐野 将太, 黒岩 大雅, 川喜田 佑介, 宮崎 剛, 田中 博, “スペクトログラムの類似度比較による雑音除去効果の評価手法の検討”, 2021 年電子情報通信学会総合大会, B-15-17, p. 432

# プログラミング演習授業における適応型ヒント提示学習支援システムの研究

研究者名：情報工学科 鈴木孝幸，納富一宏

## 1. 研究の目的（以下タイトルは，11 ポイント，MS ゴシック）

プログラミング教育における演習型授業では，プログラミング技能の習得状況や問題の理解度に個人差があり，学生はそれぞれ個別のペースで問題を解くので，授業時間内に解答できる問題数に差が出てしまう．特に初学者の場合，どこで躓いているかに合わせてヒントを提示することにより解答できる問題数が増加すると想定される．しかし，教員にとって個々の学生の進捗状況の把握が難しく，学生の習得しているレベル・進捗に合わせて，適切なヒントを適切なタイミングで提示することは，教員の経験と技量に依存してしまう．筆者らは，プログラミング演習講義のモデル化を行い，学生の学習進度に適応してヒント情報を自動的に提示するプログラミング演習講義支援システムを開発と実践を通じ，学習者がより効率的に，また個々の状況に適応した学習環境とは何かを極め，情報工学科の教育に活かすと共に，学習履歴を解析することで得られる知見から初学者向けのプログラミング教育を行うための支援システムの開発と，初学者のプログラミング能力の底上げを目指した．

筆者らは，プログラミング演習講義のモデル化を行い，学生の学習進度に適応してヒント情報を自動的に提示するプログラミング演習講義支援システムの研究を行ってきた．また，C 言語の演習問題として空欄補充問題に着目して，まずは解答のソースプログラムからの空欄補充問題の自動生成についても研究を行っている．まずは空欄補充問題に対するヒントの適応提示のプロトタイプシステムでの試用を行ったが，学習効果の測定などが十分でなかった．2019 年度は提案モデルの検証を目的に受講生による試行を目指したが，検証途中であった．そこで検証可能性を検討し直し，モデルの再設計を行うと共に，実際の演習授業で継続してシステムを受講生に利用してもらい，その学習履歴などからモデルの妥当性の検証と，学習効果について分析・評価を行う予定であった．

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

プログラミング教育における演習型授業では，プログラミング技能の習得状況や問題の理解度に個人差があり，学生はそれぞれ個別のペースで問題を解くので，授業時間内に解答できる問題数に差が出てしまう．特に初学者の場合，どこで躓いているかに合わせてヒントを提示することにより解答できる問題数が増加すると想定される．しかし，教員にとって個々の学生の進捗状況の把握が難しく，学生の習得しているレベル・進捗に合わせて，適切なヒントを適切なタイミングで提示することは，教員の経験と技量に

依存してしまう。理想的には教員の経験と技量に依存しない形式での演習形態が望まれるが、教員等の人的な資源には限りがあるので、ICTを中心とする情報技術を活用した支援システムの利用により、効率的な演習実施が期待される。

プログラミング教育において、対面型の一斉講義形式はプログラム言語の文法事項など知識の伝達に向くが、プログラミング技能の習得のためには演習型の授業も必要となる。演習型授業では、プログラミング技能の習得状況や問題の理解度に個人差があり、学生はそれぞれ個別のペースで問題を解くので、授業時間内に解答できる問題数に差が出てしまう。特に初学者の場合、どこで躓いているかに合わせてヒントを提示することにより解答できる問題数が増加すると想定される。しかし、教員にとって個々の学生の進捗状況の把握が難しく、学生の習得しているレベル・進捗に合わせて、適切なヒントを適切なタイミングで提示することは、教員の経験と技量に依存してしまう。WebベースのLMS(Learning Management System)の研究や実装については、多数の研究が行われているが、ヒント提示に注目した研究は少ない。また、学生のレベルなどに応じてヒントを提示する機能自体はCAI(Computer-Assisted Instruction)の時代から研究・提案が進められているがその評価については、十分に行われているとは言い難い状況であった。本研究では、プロトタイプシステムではあるが、実際の授業での実践と評価を目指すので独創性がある。

近年、LMS(Learning Management System)やCMS(Course Management System)を用いて授業を行うとともに、蓄積される膨大な学習履歴を分析し、授業内容の改善や学習活動の改善などを目指すラーニングアナリティクス(LA: Learning Analytics)に注目が集まる。LAの中でも、リアルタイムに分析を行い、学生にフィードバックを返すリアルタイムLAが考え方としては同じであるが、ヒント提示に注目する研究は少ないので、本研究の意義である。

### 3. 期待される効果

筆者らは、プログラミング演習講義のモデル化を行い、学生の学習進度に適応してヒント情報を自動的に提示するプログラミング演習講義支援システムを開発と実践を通じ、学習者がより効率的に、また個々の状況に適応した学習環境とは何かを見極め、情報工学科の教育に活かしたいと考える。開発したシステムを使用する事で、演習講義の進行が効率的に行えることが期待できる。この場合、学生にとっては、自分の学習状況の把握や予習・復習が効果的に行える。その事で、より自分にあった学習を進めることが可能になる。また、教員にとっても、学生の進捗状況の把握が容易になり、サポートが必要な学生の発見などが容易になり、サポート時間を有効に割り当てることが可能になることが期待される。

また、情報工学科のカリキュラムの実施のために組み込むことより、手厚い学生サポートも期待できる。

#### 4. 研究の経過及び結果・評価

2019 年度年度に行った，初学者に対するプログラミング教育に必要とされる項目を洗い出して CS(Computer Science)の要素を取り入れて開発したカリキュラムと教材の準備を行い，情報工学科 1 年生を中心に希望者を募り，「勉強会」という形で実施する予定であった．また，後期には，もう少し募集範囲を広げ上位学年を対象に勉強会を開催して，学生の反応を見ながら，カリキュラムの評価を行う予定であった．「勉強会」という形式にするのは，正規のカリキュラムには現状では入れられないからである．また，オンライン教育としての実施も検討していた．

しかし，2020 年度は，コロナウィルス感染症拡大の影響で，非常事態宣言が発令され，大学への通勤・登校が制限された．そのため，前期は，教員はオンライン授業の準備・実施に忙殺されて，計画に従った実施はできなかった．また，勉強会の募集自体の余裕もなかった．後期の計画についても，コロナウィルス感染症拡大の影響はおさまらず，前期の遅れを取り戻すに至らなかった．そのため，学生による実際のシステムでの学習実験は行えず，方法の検討にとどまった．検討結果は，情報処理学会の全国大会で発表した．

#### 5. 今後の計画

残念ながら 2021 年度の重点配分への応募は採択されなかったが，研究の知見を活かし，情報学科のカリキュラムへの組み込みを目指したい．

カリキュラムと教材の評価は，学生の事前・事後にアンケートとアセスメントを行い，評価する予定である．また，アセスメントとしてどのようなことを行うかについても再検討する予定である．特定のプログラミング言語の習得であればアセスメントを設計しやすいが，プログラミング技能の取得は知識とスキルの両面の習得を評価しなければならないので，アセスメントの設計も単純ではなかった．アセスメントについても 9 月までにカリキュラムの一環として検討して，後期の勉強会での実施と評価を行う予定である．また，これらの成果を元に，学外の科研費への応募や，2022 年度の重点研究への応募を検討したい．

#### 6. 研究成果の発表

下記の論文を発表した．

1. 鈴木孝幸，納富一宏：「初学者向けコードレビュー動画提示によるプログラミング演習支援システムの検討」，情報処理学会 第 83 回全国大会講演論文集 第 4 分冊，5G-06，pp. 413-414.

# 視線解析による広視野HMDにおける視覚安全性の基礎研究

情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

## 1. 研究の目的

本研究は、VR（バーチャルリアリティ）分野で近年広く用いられている広視野 HMD（ヘッドマウントディスプレイ：図 1）の視覚特性に関するもので、特に同 HMD で表示されるステレオ（二眼式）立体映像の視覚負担を対象としている。

従来、ステレオ立体映像は長く見ていると疲れるなど視覚負担が大きい映像であることがわかっている。HMD でのステレオ立体映像でも、同様に視覚負担が大きいことが通常では予想されている。しかし、本研究では、広視野 HMD で表示されるステレオ立体映像は、通常の平面的ディスプレイ上で表示されるステレオ立体映像よりも視覚負担は小さい、または負担を感じにくいとの予想のもと研究を進める。



図 1 広視野 HMD とステレオ立体映像

本研究では、広視野 HMD での立体視特性、立体映像に起因する視覚負担を、融像限界、視覚負担アンケートなどの立体映像研究での評価手法に加えて、映像鑑賞時の両眼の視線の動きを計測・解析することで、既存タイプの立体ディスプレイとの比較を行う。鑑賞時の視線計測・解析には、視線追跡機能付 HMD を用いた実験を実施する。本研究では、HMD による立体映像の表示上の特徴を、広視野による周辺映像の存在、頭部運動追従映像による映像枠の無効化ととらえて、これらと視覚負担との関係を調べる。

本研究では、広視野 HMD が提示する立体映像に対して、以下を目的としている。

①視覚負担を中心とした立体視特性を明らかにする

②一般的ディスプレイと異なる特性の場合にその要因は何かを明らかにする

そして、最終的な目標として、広視野 HMD での立体映像表示についての安全性・快適性ガイドラインを提案することである。

2020 年度は準備年度として、実験刺激用コンテンツの作成、視線入力プログラムの作成を主に実施した。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

本研究課題は、広視野 HMD で表示されるステレオ立体映像は、通常ディスプレイでのステレオ立体映像と視覚面で同じ特性だろうか？もしかして視覚負担が少ないのではないかと疑問からスタートしている。

3D メガネを装着する一般的な立体ディスプレイでの立体映像鑑賞では、目が疲れる、頭痛がするなどの視覚負担の訴えがユーザから必ずあり、短時間鑑賞でも映像に違和感を強く感じるユーザが多い。

ステレオ立体映像方式は最も広く利用される立体表示方式であり、立体効果は高いが、視覚負担が大きくなりやすいことも特徴である。特に視覚系のピント調節と輻湊（左右視線合わせ）への距離情報不一致の問題（図 2）は有名で、視覚負担の大きな要因と言われている<sup>1)</sup>。この問題は二眼式立体映像方式の仕組みに起因しているので、広視野 HMD での立体映像でも同様の問題が発生していることになる。

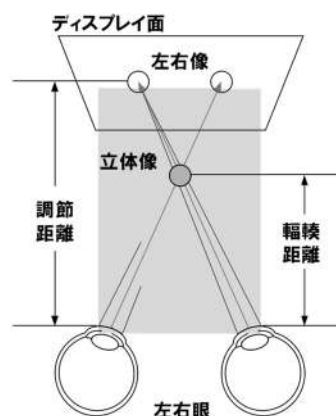


図 2. 調節・輻湊の距離情報の不一致

ところが広視野 HMD で表示された立体映像では、このような訴えが少ないように思える。また、一般的な立体ディスプレイでは視覚負担を強く感じるほどの立体映像でも、広視野 HMD で表示すると違和感がほとんどない場合が多い。それでは広視野 HMD の場合、なぜ立体映像への違和感が少ないのだろうか？

広視野 HMD の特徴として 100 度超の表示画角による広視野映像、広画角とレンズ効果による映像枠の除去、頭部運動（視線）追従機能による 360 度空間映像などがあげられる。これらが広視野 HMD 立体映像の見え方に影響を与えている可能性はないだろうか？広視野 HMD 立体映像の安全性の観点に加えて、立体映像知覚の点でも興味ある課題と言える。

### 3. 期待される効果

人間の立体視特性、二眼式立体映像に対する視覚特性は古くから研究対象であり、多くの知見が得られている。また、商用的な観点からの安全な立体映像の制作・表示ガイドラインも提案されている<sup>2)</sup>。ただし、これらの研究・調査の多くは 10 年以上前に実施されており、今日の広視野 HMD を直接的には対象にしていない。「視野」や「頭部運動（視線）追従」など空間知覚に関係する条件が大きく進歩した立体ディスプレイである広視野 HMD でも同様の傾向を示すかどうかは興味あるテーマである。しかし、現段階ではまとまった研究は見当たらない。

本研究の成果が提供するの、実用面では今後広く利用される広視野 HMD の安全・快適な利用ガイドラインへの基礎データであり、学術的には周辺視野の立体映像知覚への影響・効果という視覚の立体視機能への知見である。

### 4. 研究の経過及び結果

本年度は、視覚実験の準備年度として、HMD 用の実験用コンテンツとして、ステレオ視覚刺激ターゲットの制作と、HMD 鑑賞時の左右視線を計測するプログラム製作を行った。

### (1)実験用の広視野 HMD

実験用の広視野 HMD として、HTC 社製の VivePro Eye<sup>3)</sup>を用いた (図 3). 同 HMD は、視野角が最大 110 度の広視野 HMD であり、解像度が片目あたり 1440 x 1600 ピクセル (全体で 2880 x 1600 ピクセル)、画面リフレッシュレートが 90Hz の、広視野・高精細の HMD である. また、同 HMD には角膜反射法による両眼の視線追跡機能があり、HMD 装着者の映像鑑賞中の両眼視線方向をリアルタイムに計測することが可能である.

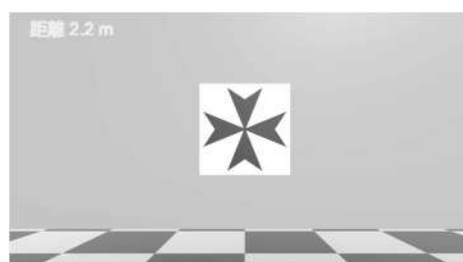


図 3. 研究で用いた HMD  
HTC Vive Pro Eye 視線計測機能付

### (2) ステレオ視覚刺激ターゲットコンテンツの作成

HMD 内に表示するステレオ視覚刺激の提示コンテンツ・提示用プログラムを統合開発環境ソフトウェア Unity (Unity Technology 社製 Ver2020) で作成した. 今回作成したのは、融像限界、立体視可能範囲など視覚特性を調べるための比較的単純な図形を用いたものである (図 4).

被験者が注視するオブジェクト (ターゲット) が、仮想空間内の適当な距離に表示される. PC のキーボードや HMD 付属のコントローラーで、位置を前後移動できるようにした. また、その際の距離を画面上に表示／非表示できるようにした.



(a) 単独のターゲット



(b) 2 つのターゲットの距離差 (視差)

図 4 視覚実験用の画像刺激例

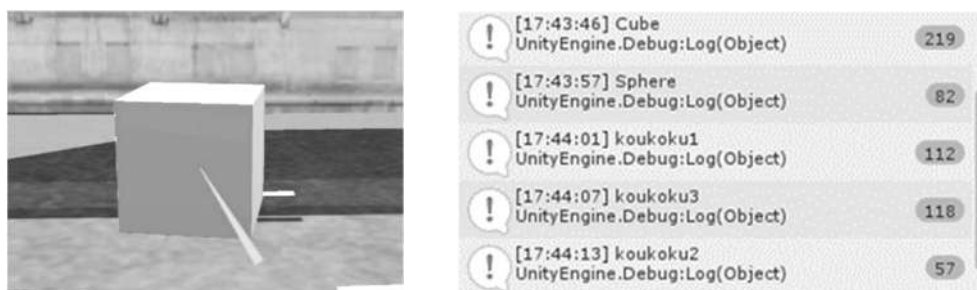
### (3) HMD 鑑賞時の左右視線を計測するプログラム

本研究で用いる広視野 HMD の VivePro Eye が備える視線追跡機能を使って、映像鑑賞中の被験者の両眼視線方向をリアルタイムに計測するプログラムを作成した. プログラムは、コンテンツ制作用 Unity のスクリプトとして作成して、視覚刺激や仮想空間用コンテンツに組み込めるようにした.

プログラムには、HTC 社提供のプラグイン Vive-SRanipal-Unity-Plugin を用いた. この



プラグインを活用することで、左右の視線座標や視線方向の画面表示を比較的簡単に実現可能である。作成したプログラムの実行状況を示す画面を図 5 に示した。



(a)視線方向を示す赤線（ビーム）表示 (b)特定オブジェクト注視回数計測

図 5 作成した実験用の視線解析ソフトの出力例

## 5. 今後の計画

今年度は準備年度として、立体視実験用のターゲット映像コンテンツ制作と、HMD 鑑賞時の視線計測プログラム製作を行った。2 年目以降には広視野 HMD で表示されたステレオ立体映像に関する表 1 の実験を計画する。これらの実験結果から、広視野 HMD におけるステレオ立体映像の特徴をまとめる。

表 1. 2021 年度以降実施予定の実験

|        |                                                                                              |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 実験 (a) | ステレオ立体映像に対する立体知覚基本特性. 映像内の視差や奥行き量を変化させて、左右像融像限界、立体視限界を調べる。また、映像鑑賞後の視覚負担、視覚疲労を質問型アンケートにより調べる。 |
| 実験 (b) | 画角や頭部運動追従の制限と立体視特性の変化. 表示画角をソフトウェア的に変化させて、(a) の実験を実施する。画角、周辺視野映像、映像枠の効果、影響を評価する。             |
| 実験 (c) | 眼球運動調査. 観察者の眼球運動（視線）を行い、結果を立体映像と平面映像で比較する。                                                   |

## 6. 研究成果の発表

来年度以降の実験で、一定の結果が出た段階で学外発表を行う予定である。

## 参考文献等

- 1) 井上哲理, "3 章 視機能から見た 3 次元画像", 3 次元画像と人間の科学 (原島博編), オーム社 (2000)
- 2) 3DC 安全ガイドライン, 3D コンソーシアム編 Web 版(2011) : [http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt\\_wg\\_rep/guide\\_index.html](http://www.3dc.gr.jp/jp/scmt_wg_rep/guide_index.html)
- 3) HTC 社 VIVE Pro Eye ページ : <https://www.vive.com/jp/product/vive-pro-eye/overview/> (2021 年 5 月現在)

(以上)

# 不可視にコード化された光による 情報ハイディングとその応用に関する研究

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 海野 浩

## 1. 研究の目的

本研究は、不可視にコード化された光を用いて実物体上や実空間中の任意の場所にその物体や場所に関する情報を不可視に付与させ、その実物体や実空間を撮像した画像からその情報を抽出する技術を実現する。本研究では、この技術を発展させ、高度かつ多様な応用を可能にするために、高密度に情報を付与しそれを抽出することを目的とする。さらに、その撮像画像が印刷される事例にこの技術を適用することなど、適用領域を拡張することを目的とする。本研究の具体的な応用として、実物体の肖像権を保護する技術、証明用写真の偽造を防止する技術、空間を撮像した画像に三次元情報を不可視に付与する技術などを検討する。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、Facebook、LINE などソーシャル・ネットワーキング・サービス (Social Networking Service; SNS) では、静止画像や動画画像などデジタルコンテンツをやり取りすることが多くなってきた。これに伴いデジタルコンテンツの著作権を保護することの重要性が高まった。そのため、デジタルコンテンツの著作権を保護することを目的とした情報ハイディング技術 (情報セキュリティ分野の電子透かし技術) は非常に重要なものとなっている。情報ハイディング技術は、人に気付かれないようにある情報 (メタ情報) を別の情報 (カバー情報) の中に付与する技術である。この技術は、デジタルコンテンツの著作権を保護することのみならず、デジタルコンテンツの付加価値を高めることができる技術でもある。

本研究の申請者らは、情報ハイディング技術において、情報を付与する場所をデジタルコンテンツの中から実物体上や実空間へ拡張し、実物体上や実空間に情報を不可視に付与させることができれば、情報セキュリティ分野の他さまざまな分野においても多くの新しい応用を創出できると考えた。そして実物体上や実空間上に情報を付与させる方法として、光の中に情報を含ませる方法を提案した。この方法は、光の輝度を人間の視覚系の知覚限界以下に変調して、その光を実物体や空間に照射する。これにより光に情報を含ませ、その光で照明された実物体の表面や空間に、人に気付かれないように情報を付与することができる。一方で、その情報が人間の眼に不可視であっても光に情報が含まれていれば、その光で照明された実物体や空間を撮像した画像には、その情報が不可視に含まれているはずである。この情報を必要に応じて携帯端末のカメラで撮像した画像から抽出し、それを活用するというのが本技術の基本概念である。本研究は、実空間に存在する物体や人間に対して影響を

与えることなくそれらに情報を付与できる点が、情報技術としてだけでなく社会的にも必要とされるものである。さらに本技術は、情報の付与からその情報を抽出する一連の工程において用いられる照明装置やカメラなどの機器は民生用のもので対応できる。この点が関連研究と異なり新規性がある。

### 3. 期待される効果

本研究の提案技術が実用化できると、実物体の所有者が発信したい情報を、その情報の存在を意識させることなく、携帯端末のカメラを介して、その実物体を撮像した者に提供することが可能になる。情報セキュリティ分野においては、美術館の創作物や舞台上の俳優や歌手など実物体の肖像権を保護することが可能となる。さらに、実物体を撮像した画像が本物であることを証明できるので、証明用写真を偽造することを防止することが可能となる。これらはいずれも従来の情報セキュリティ技術では解決できなかった問題である。また、光の構造化特性を空間の三次元座標に依存させれば、空間を撮像した二次元画像にその空間の三次元情報を重畳することができる。そのような画像を通常は伝送や蓄積に有利な二次元画像の形態で扱う。必要に応じて二次元画像から三次元情報を抽出して三次元画像を生成する。このようなことが可能となる。

### 4. 研究の経過及び結果

前年度の研究において、実物体の表面に情報を不可視に付与する技術について、付与する情報の高密度化に取り組んだ。付与する情報の種類をチェッカーボードパターン（以下 CB パターンと略す）とし、この情報を含む光を実物体に照射することにより、情報を実物体の全領域に付与した。この場合の付与された情報の人間の眼に対する不可視性、およびビデオカメラに対する可読性を検証した。

実験の結果、以前行った低密度の情報（文字列パターン）の場合と比較して、不可視性の上限値は約半分であった。これは情報の付与される領域が異なることに起因していた。低密度情報（文字列パターン）の実験では、情報は実物体の中央に付与されていた。また可読性については、抽出された情報において CB パターンを構成する正方形の一部が欠損することが多いことが判明した。これは CB パターンの単位情報である正方形の大きさが、文字列パターンの場合と比較して極めて小さいことに起因していた。この実験により提案技術を高密度の情報を付与する場合に適用するための問題点が抽出され、高密度情報を扱う場合の困難性が示唆された。

これらの問題点をさらに明確にするために、フラットパネルディスプレイ（以下 FPD と略す）に表示される画像の中に情報を不可視に付与する技術において、情報を高密度化した場合の不可視性と可読性を調べることにした。また、情報を配置する領域を低密度パターン（文字列パターン）の実験と同じ領域に設定することとした。すなわち、情報を高密度化して FPD に表示される画像にそれを付与した際の、① FPD の表示画像に付与された情報の信号の不可

視性を満たす情報の空間的大きさ、②その情報の信号のビデオカメラに対する可読性を明らかにするための実験を行った。

実験定数として、メタ画像上 CB パターンが配置される領域は文字列パターンが配置された領域と同じ位置とし、情報が付与される色成分を青色成分、色成分の強さの変調振幅値  $\Delta B$  を 9、表示・撮影のフレームレートを 60fps とした。

不可視性の実験では、CB パターンを構成する一つの正方形の一辺の大きさ  $L$ [画素]を 6 から 24 まで 2 刻みで変化させた。なお実験環境では、FPD 表面での  $L$ [mm]は 1.62 から 6.48 まで 0.54 刻み（2 画素当り 0.54[mm]）であった。また被験者数は 20 であった。

不可視性の実験の結果、 $L$ [画素]が 6 から 24 のとき不可視性は 90%以上であった。なお、 $L$  が 8 から 18 までのとき不可視性は 100%であった。 $L$  が 6 のとき、および 20 から 24 までのとき不可視性は 95%であった。これらの結果から、実験環境では、 $L$  が 6 から 24 までの範囲のとき人間の眼に対する不可視性が満たされることが明らかになった。また、 $L$  が大きいときのほか、 $L$  が小さいときも不可視性が低下することが示唆された。

可読性の実験の結果、 $L$  が 14 画素以上のとき（FPD 上の  $L$  が 3.78[mm]以上のとき）抽出されたメタ画像の信号の推定値である画像  $S_b - k \cdot S_g$  は、そのヒストグラムの形状から二値化閾値を決定することができた。ここで、 $S_b$  と  $S_g$  はそれぞれ青色成分と緑色成分に対する総和画像であった。なお、係数  $k$  は 1.0 に設定した。なぜならば総和画像  $S_b$  上のノイズは画像  $S_g$  上のノイズと非常に似ていたからである。

$L$  が 14 画素以上のとき、表示画像に付与された CB パターンは獲得できた。しかし詳細に観察すると CB パターンの正方形の一部は獲得できなかった。これは、カバー画像の青色成分の影響を受けたためである。具体的には、この正方形の位置に対応するカバー画像の青色成分の値が 40 以下、または 200 以上であったとき、正方形の信号は欠損したことが明らかになった。

不可視性と可読性の両方の実験の結果から、不可視性と可読性の両方の要件を満たす CB パターンを構成する正方形の一辺の長さ  $L$  の範囲は、実験環境では 14 画素から 24 画素であった。この  $L$  に対する FPD 上の大きさは 3.78[mm]から 6.48[mm]であった。

## 5. 今後の計画

これまでの成果に基づき、FPD に表示される画像または実物体の表面に、情報を不可視に付与する技術について、実用レベルに完成度を高め、さらに技術の適用領域の拡張を図る。

実用レベルに完成度を高めるために、FPD に表示される画像に情報を不可視に付与する技術においては、付与された高密度の情報の信号の検出精度を明らかにする。また、情報の付与強度に対する不可視性・可読性の関係を明らかにする。さらに、情報を付与する方法を検討することにより、撮像画像から計算される総和画像上のノイズの低減化を図る。

実物体の表面に情報を不可視に付与する技術においては、一定の矩形領域に高密度の情報を配置したときの、付与された情報の不可視性と可読性の両方の要件が満たされる範囲

を明らかにする．このために，高密度情報である CB パターンを低密度情報であった文字列パターンと同じ矩形領域に配置する．

その上で，提案技術の適用領域の拡張を図る．すなわち，撮像画像が印刷されるケースにおける印刷画像への情報の付与方法と抽出方法を検討する．また，撮像画像に三次元情報を不可視に付与方法においては，撮像画像からパターンを除去することが困難であるという問題を解決する方法を検討する．

## 6. 研究成果の発表

[1] H. Unno, and K. Uchira, "Lighting Technique for Attaching Invisible Information Onto Real Objects Using Temporally and Spatially Color-Intensity Modulated Light," *IEEE Transactions in Industry Applications*, NOVEMBER/DECEMBER 2020, Vol.56, No.6, pp.7202-7207, doi: 10.1109/TIA.2020.3025987.

[2] 海野浩，上平員丈，“時空間的に輝度が変調されたパターンを用いたデジタルサイネージ上の情報ハイディングーチェッカーボードパターンの場合の不可視性と可読性ー，” 画像電子学会第 295 回研究会，予稿集，pp. 89-94，Feb. 2021.

# クラウド環境を利用したエンドユーザーの利用状況解析による ユーザ適応型インターフェースの作成支援手法

研究者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 岩田 一

## 1. 研究の目的

情報端末として従来の PC(Personal Computer)に代わる形で、スマートフォンやタブレット型デバイスが普及してきている。普及の背景として、主に Web ブラウジング、電子メール、SNS(Social Networking Service)といった閲覧を中心とした一般的なエンドユーザーにとっては十分であることが挙げられる。

従来の PC では、平面の画面に表示された Graphical User Interface(GUI)に対して、マウスやキーボードを使用して操作を行うことが一般的であったが、スマートフォンやタブレット型デバイスなどの情報閲覧を中心としたデバイスでは、直接画面を触って操作を行うタッチパネルが広く利用されている。さらに、視線入力を受け付けるカメラ型のデバイスや、音声入力による操作に対応したスマートフォンに加え、音声入力に特化したスマートスピーカーといった、従来型の GUI にとらわれない、多種多様なユーザーインターフェースが普及し、広く使われるようになってきている。

スマートフォンなどの Operating System(OS)としては Android や iOS が主に使われており、タッチパネルディスプレイを前提とした GUI を搭載しており、音声入出力の機能も OS の標準機能として使用できるようになっている。しかし、タッチパネルによる直感的な操作に対応した GUI であっても、新しいソフトウェアを利用するためには、操作方法が分からずに戸惑う場面も少なくない。また、音声アシスタント機能は存在するが、実際にはアプリケーションごとに音声で対応できる操作には限界がある。

そこで本研究では、タッチパネル操作を主体とする端末を使用するエンドユーザーの現在の使用状況に応じて、エンドユーザーが期待する機能を実現する操作について支援を行うことを目的とする。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

タッチパネル対応デバイスの OS には、マウスクリックに相当するタップだけでなく、指をはじく操作のフリック、2本の指で広げる・狭めるピンチなどの、ジェスチャーによる操作に対応しているが、ソフトウェアの種類や状況によって、受け付けるジェスチャー操作や対応する機能が異なることも多い。画面上に受け付けるジェスチャー操作などの表示が行われることは少なく、どのような操作を行うとエンドユーザーが求める機能が実現できるのか、気づきにくい場面もある。また、キーボードによるショート

カット操作のような、ソフトウェアごとの操作の一貫性はタッチパネル対応デバイス向けソフトウェアでは十分に確保されておらず、エンドユーザーが操作方法を容易に連想できる決まった操作が多くないことも挙げられる。また、ソフトウェアにおける操作学習支援についても、エンドユーザーが操作方法を理解するためには作業を一時中断して Web ページを確認するなど、他のソフトウェアの起動をしなければならず、エンドユーザーにとって操作方法を学習するための負荷が大きい。そのため、エンドユーザーに向けた操作方法の学習支援が必要となっている。

また、視線入力や音声入力による操作は、腕や指を使用しないため、手を使うことができない状況においても情報端末の操作ができる利点があり、障害を持つユーザの支援にも繋がる。特に音声による操作である VUI (Voice User Interface) は、画面を注視する必要が無いいため、いわゆる歩きスマホなどの問題を解決することも期待できる。しかし、エンドユーザーの思い通りの結果を得るための精度はまだ不十分であり、エンドユーザーが状況に応じて GUI による操作と使い分けを行う必要がある。

これまでに、既存 PC 上のソフトウェアにおける、エンドユーザーの操作環境を改善する手法として、Web ブラウザなど同じジャンルに属する複数ソフトウェアにおける操作方法の違いに着目し、ショートカットキーの差異について提示することで学習支援を行うシステムを生成する手法について提案した[1]。汎用的な UI モデルを設計し、様々なデバイス向けのプロトタイプ UI を生成する手法について提案した[2]。

また、Android ベースのソフトウェアにおいて音声入力による操作を受け付ける機能を、多くのソフトウェアで標準的に使用されている機能の単語を登録することによって、少ない修正で使えるようにする手法について提案した[3]。タブレット型デバイスにおけるエンドユーザーの操作情報の履歴を取得し、タッチパネル特有の各種操作のアクション回数や、タスクの操作時間などを統計学的に分析することによって、ユーザビリティ評価を支援する手法を提案した[4]。タブレット型デバイスのソフトウェアに現れる操作の特徴をソフトウェアのジャンルごとにまとめ、ジャンル内の典型的なソフトウェアの操作方法と異なる操作方法が実装されている場合は修正案を開発者に提示するシステムについて提案した[5]。

### 3. 期待される効果

本研究では、エンドユーザーのタッチパネルの操作履歴や各種センサーの記録などから、エンドユーザーが期待する結果を推測し検出できるようにする。さらに、それぞれの場面においてソフトウェアが受け付けることのできるタッチパネルの操作と機能についても提示できるようにし、エンドユーザーの期待する機能が実行できるようにする。さらに、センサーやマイクなどによる入力から、現在のユーザが置かれている状況を把握することで、場面に応じた適切な入出力および操作ができるようにする。

これらの情報をクラウド上に作成したサーバにデータを蓄積することにより、幅広いエンドユーザーの記録をもとに解析をした結果から、ユーザインタフェースデザインの問題点および改善箇所も検出できる。ビッグデータとしての活用も期待できる。

タブレット型デバイスを使用するエンドユーザー層は厚くなっており、慣れないソフトウェアを使用するときに戸惑うエンドユーザーは、今後増加することが予想される。タブレット型デバイスをはじめとしたタッチパネル操作を主体とする端末における、適切なユーザインタフェースデザインやエンドユーザーに対する操作支援はまだ十分ではなく、本研究の重要性は高いといえる。本研究により、エンドユーザーが操作に戸惑う場面が減り満足度の向上が期待できる。

#### 4. 研究の経過及び結果

2020 年度内の研究によって、タッチパネル操作を主体とする端末の操作の一貫性について、エンドユーザーの操作を支援する手法を提案した。さらに、ソフトウェアを GUI だけでなく VUI を併用するように対応させる方法についても検討を進めている。タブレット型デバイス向けソフトウェアにおける操作と対応する機能を調査し、またエンドユーザーのこれまでのソフトウェアの使用経験をもとにして、場面ごとの操作においてエンドユーザーに適した機能を導き出す手法について進めた[6]。多数の機能があるソフトウェアにおいて、使用目的によってはエンドユーザーが利用している手順よりもより適した操作方法があることを提案することで、より効率的な利用ができるように進めたい

音声入出力に関連して、エラーメッセージなどのユーザへの通知について適切な音を割り当てる手法について提案した[7]。GUI だけでなく VUI による操作の切り替えをできるシステムの開発支援手法についても提案した[8]。本研究で行っている操作履歴の取得および解析や操作一貫性確保の手法と合わせることで、より様々なエンドユーザーの状況に合わせた操作支援を行うことが可能となる。

しかしながら、2020 年度は新型コロナウイルスによる感染症対策のこともあり、実際に被験者に実験を行ってもらうための調整が難しく、本研究の効果の確認や問題点の抽出を進めることが当初の計画のようにできなかったことが反省点である。

#### 5. 今後の計画

今後に向けて、遠隔でも実験に参加できる仕組み作りを進めることが必要である。クラウド上に設置したサーバに対して、利用者の個人が特定できないよう配慮をした上で収集を行うシステムの設定が必要だが、実験用の端末では無くユーザ自身の端末でも実験が可能になるようにより汎用性を持たせた環境作りを検討したい。また、解析の結果を他のソフトウェア開発においても共有できるように、パブリッククラウド上でのシステム展開を早急に進めていく。



また、各種端末からの履歴についても、タッチパネルの操作履歴だけでなく、加速度センサーなどのログを取得しエンドユーザーの戸惑う場面を解析することも引き続き検討している。合わせて、従来型 PC 向けソフトウェアをタッチパネル操作が主体となる端末に対応させる方法についても進める。

## 6. 研究成果の発表

本成果報告書に対応する成果発表は以下の通りである。

- [1] Hajime Iwata, “Method to Generate an Operation Learning Support System by Shortcut Key Differences in Similar Software”, The 17th International Conference on Human-Computer Interaction (HCII 2015), August 2015.
- [2] Seika Tanaka, Hajime Iwata, Junko Shirogane and Yoshiaki Fukazawa, “Development Support of User Interfaces Adaptive to Use Environment”, the 2019 8th International Conference on Software and Computer Applications, Penang, Malaysia, Feb. 19-22, 2019. DOI : 10.1145/3316615.3316663
- [3] Hajime Iwata and Kazuhide Koyama: “Method of Software Operation Consistency for Tablet Devices by Sound Recognition”, Proceedings of the 11th Joint Conference on Knowledge-Based Software Engineering (JCKBSE2014), September 2014.
- [4] Junko Shirogane, Misaki Matsuzawa, Hajime Iwata and Yoshiaki Fukazawa, “Usability Evaluation Method of Applications for Mobile Computers Using Operation Histories”, IECE TRANSACTIONS on Information and Systems, vol.E101-D no.7, Jul., 2018. DOI : 10.1587/transinf.2017KBP0022
- [5] Hajime Iwata, Yusuke Sekino, “A Support Method of Common Gesture Operation Consistency for Android Applications”, The Fifth Asian Conference on Information Systems (ACIS 2016), October 2016.
- [6] 道券裕二, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰, “ソフトウェア利用目的を考慮した機能推薦システム”, 電子情報通信学会 知能ソフトウェア工学研究会, てんぶす那覇, 沖縄県, 2020 年 3 月 6 日～ 7 日.
- [7] Marina Sakai, Junko Shirogane, Hajime Iwata and Yoshiaki Fukazawa, “User-Adaptive Notification Sound Assignment for Notification Messages”, 14th IADIS International Conference Information Systems 2021, virtual, Mar. 3-5, 2021.
- [8] 篠原佑友, 岩田一, 白銀純子, 深澤良彰, “GUI からの VUI 生成による入力手順数の減少手法”, 第 188 回 ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, オンライン, 2020 年 6 月 1 日～2 日.

以上

# デジタルファブリケーションによる造形物への情報埋め込み技術に関する研究

研究者代表者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

## 1. 研究の目的

普及型 3D プリンタである熱溶解方式 3D プリンタについて、造形物の高付加価値化を目指し、工程を追加することなく通常の造形工程において、造形物内部に外部から不可視の状態に情報記録領域が形成されるように造形物を形成し、かつこの内部の情報記録領域の情報を非破壊で外部から読み出す技術の確立を目的とする。

さらに、内部の記録領域の情報を物体造形後に外部から書き換え可能とする技術の実現も目的とする。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

3D モデルデータから実物体を造形するデジタルファブリケーションはモノづくりとデジタル技術が融合した新しいデジタルモノづくりとして注目されている。最近では、個人でも購入可能な安価な 3D プリンタが発売されており、今後、3D プリンタは広く普及することが予想される。3D プリンタが普及すれば、ユーザは従来のようにモノとしての商品を購入するのではなく、インターネットを介して商品を製造するためのデータを購入し、自宅やオフィスでモノとしての商品を製造できることになる。これゆえに将来 3D プリンタは製造業や物流に変革をもたらす可能性があると言われている。

我々は、これまでに 3D プリンタ造形物の高付加価値化を目的に造形物内部に情報を埋め込む方法を研究してきた。3D プリンタ造形物の内部に情報を埋め込み、これを情報端末により必要に応じて読み出せば IoT における「モノ (Things)」としても活用でき、これより 3D プリンタ活用の範囲を一層拡大することができる。また、従来のデジタルファブリケーションでは、3D モデルデータを不正に入手して製造された実物体に対して著作権を保護する有効な手段がなく、今後、この分野でのコンテンツビジネスを健全に発展させる上でコンテンツの著作権問題は避けて通れない課題となっている。そこで、本技術により造形物内部に著作権情報を埋め込むことができればこの問題の解決も可能となる。

3D プリンタ造形物内部に情報を埋め込む研究はマイクロソフトの研究所からも報告されている。しかし、その方法では情報を表現する内部パターンを別部品として製作し、この部品が内部に含まれるように 3D プリンタで造形した数点の部品を組み合わせることで最終製品を成型する。これに対して、本研究では内部構造は最初から製品の 3D モデルデータに一体として含まれており、ユーザは単に一つのデータを 3D プリンタに入力するだけで自動的に内部にパターンが形成されて情報が埋め込まれた最終造形物が造形される。したがって、本方法はユーザに特別な組み立て工程を行わせないという点で従来法とは基本コンセプトを異にしている。

### 3. 期待される効果

従来、特に普及型の 3D プリンタでは、置物、飾り物などの単に形状のみに価値を有する造形物しか製造できなかったが、本研究で開発を目指す技術により、造形物の付加価値が高まり 3D プリンタの応用範囲が飛躍的に拡大されることが期待される。

また、本技術は 3D モデルデータの著作権問題を解決できる有効な方法と考えられ、3D プリンタのコンテンツビジネス発展にも大きく貢献すると予想される。

### 4. 研究の経過及び結果

3D プリンタでは数十ミクロンの薄い層を一層ずつ積み上げながら物体を造形する「積層造形」とよばれる特徴的な製造法が用いられている。昨年度までに報告したように我々はこの積層造形に着目し、この方法で物体を造形する際、同時にその内部に任意の構造を形成できると考えた。その構造が情報を表現するような構造とすれば、造形物内部に情報を埋め込んだことになる。そして、情報表現に適した内部構造とその内部構造を外部から非破壊で解析して埋め込んだ情報を読み出す方法について検討を進めてきた。2020 年度は COVID-19 の影響で実験が計画通り進捗できなかったが、2019 年度に続き蛍光色素を微量に配合された樹脂の多層埋め込みによる高密度な情報埋め込みの検討を続けた。

蛍光色素は波長  $\lambda_A$  の近赤外線光を照射すると波長  $\lambda_B$  の近赤外線光を発光する。いずれも人間の目には見えない波長であるが、パターンを形成する樹脂にこの色素を含有させればパターン自らが発光するので近赤外線カメラで撮像すると明るいパターン像が得られる。しかし、近赤外線は樹脂を透過するが、今回使用した色素の蛍光波長は比較的短いので樹脂を透過する際に散乱を受ける。したがって、表面から深い位置にパターンを形成すれば、撮像画像中のパターン像の「ぼけ」が大きくなる。2019 年度の研究ではこの「ぼけ」を利用して、パターンを異なる 2 つの深さに埋め込む場合の 4 つのケースを区別することにより埋め込み情報量を 2 倍にする方法を検討した。すなわち、図 1 に示すように異なる 2 つの深さにおけるパターンの有無で 4 つの状態、すなわち 2 ビットの情報を表現する。深さによって像のボケの程度が異なること、また、2 つの深さにパターンが存在するときは、輝度分布はそれぞれの深さにだけ存在するときの分布の合成となること、これらから輝度分布を調べれば 4 つの状態を識別できると期待できる。なお、深さが異なることにより、パターン像の輝度にも差異が生じるので、輝度による識別の可能性もあるが、輝度ではカメラの感度や照明系も含めたシェーディングの影響のため正確な識別は難しいと予想される。一方、規格化された輝度分布はこれらの影響は受けず安定した識別が可能であると考

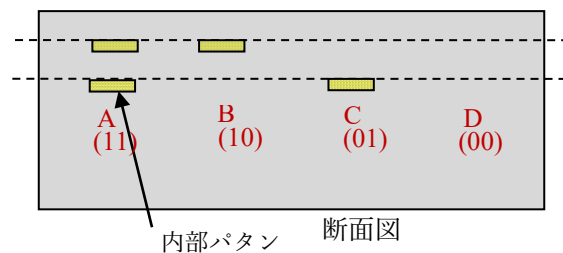


図1 パターンを異なる2つの深さに埋め込む方法

えられる。2020 年度はパタン厚みの改良により 4 つのケースの識別の高精度化を図った。

図 2 に今回使用した試料の断面図を示す。パタンの厚みを 0.5mm から、上側を 0.7mm、下側を 1.7mm と厚くした。特に、下側のパタンを厚くすることにより、下側パタンからの光量を増やし、上面から撮像したパタン像の輝度分布において下側パタンの影響度を上側パタンと同程度にとした。これにより図 1 における A と B の区別を容易にして識別制度の改善を図った。試料は、2019 年度と同様に ABS 樹脂で形成し、1%未満の蛍光樹脂を含む母体と同一の ABS 樹脂で内部パタンを形成した。

図 3 にこの試料の上面から撮影した近赤外線像を示す。図 3 から、C 位置のパタン像もはっきり観察され、これより A 位置の撮像画像の輝度分布においても下側パタンも十分な影響を与えていると予想され、輝度分布から A～D の 4 つのケースを識別できると期待できる。

識別はディープラーニングにより行った。識別に使用したディープラーニングのモデルを図 4 に示す。図 5 に一例を示す 4 つの位置の近赤外線画像をそれぞれ 200 枚ずつ使用してモデルの学習を行った。学習済みのモデルで未知の近赤外線像 100 枚に対して認識をさせて正答率を評価した。表 1 に正答率の評価結果を示す。表 1 から、A, B, D の各位置に対しては 100%の精度を達成している。

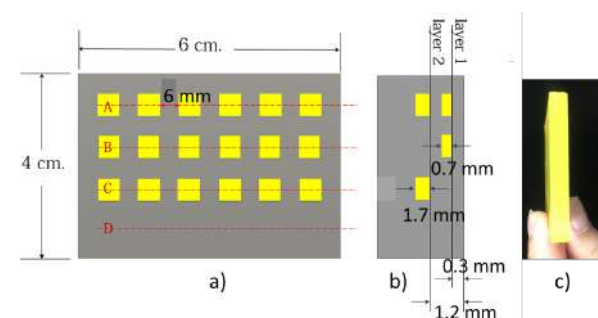


図 2 今回使用した試料のパタンサイズ

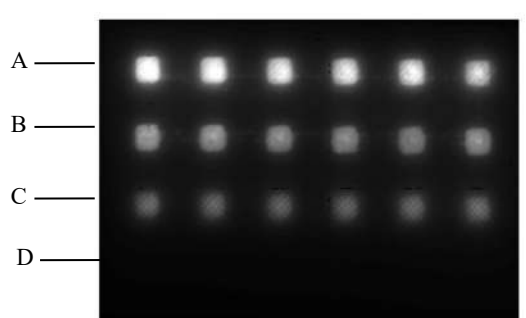


図 3 試料の近赤外線像

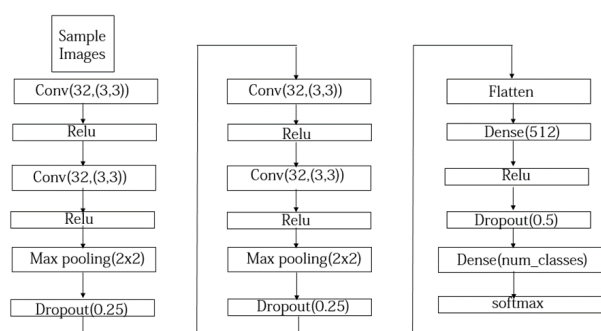


図 4 識別に用いたディープラーニングのモデル

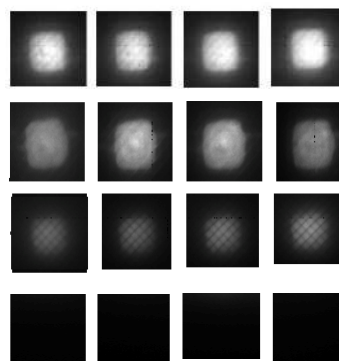


図 5 ディープラーニングの学習に用いた各位置の近赤外線像

C位置に対しては85%であり、15%はB位置と誤認識している。全体では96.3%の識別精度であった。学習に使用した画像の数が少ない割には高い正答率を得ることができた。今後、学習量を増やすことにより正答率は100%に近づくと予想される。

表 1 認識精度 (%)

| Proper  | A   | B   | C  | D   |
|---------|-----|-----|----|-----|
| Predict |     |     |    |     |
| A       | 100 | 0   | 0  | 0   |
| B       | 0   | 100 | 15 | 0   |
| C       | 0   | 0   | 85 | 0   |
| D       | 0   | 0   | 0  | 100 |

5. 今後の計画

本研究課題は3年計画で、今年度が最終年度であり、基本的事項について実証できたので研究は一応終了とするが、今後は実用に向けた取り組みを計画する。具体的には、内部パターンを磁性材配合樹脂で形成する方法について、情報の高密度化を進めるとともに、磁性領域へ情報の書き込みや読み出しのためのリーダ・ライターについて、具体的なデバイス構造を検討し、リーダ・ライターの開発を進める。

6. 研究成果の発表

[1] Piyarat Silapasuphakornwong, Hideyuki Torii, Kazutake Uehira, and C. Dhammatouchwong, “Image Analysis for Reading Out Embedden Information inside 3D printed Object using Deep Learning”, International Conference on Imaging, Signal Processing and Communications (2020.10)

謝辞

本研究で蛍光色素を提供して頂いたDIC株式会社様に感謝致します。

# 高効率駆動機構を備えた自転車の最適化研究

研究者名：ロボットメカトロニクス学科 高尾秀伸

## 1. 研究の目的

本研究では、人間の身体・運動生理特性に基づき、操縦者の発揮する力が最大限に伝達できる、高効率な駆動装置およびシートを備えた、高効率自転車の開発を目標とする。

## 2. 研究の必要性及び従来の研究

現在の形状をもったいわゆる「セーフティ型」自転車は今から約 140 年前に生み出されたが、それ以降大きな進歩を遂げてはいない。確かに素材の軽量化や電動アシスト機能が加わるなどの進歩は見られるが、操縦者の身体・運動生理特性を最大限に伝達する工夫についてはほとんど進化していないと言える。それは、140 年前から基本的に駆動装置であるクランク機構に大きな工夫が加えられていないからである。

そこで、本研究では、シートを備えることで体幹への負担が小さく、空気抵抗の影響が小さく高効率なリカンベント自転車に着目した（図 1）。そして当該形式自転車をベースとして人間の身体・運動生理特性に基づき、操縦者の発揮する力が最大限に伝達できる、高効率な駆動装置を備えた高効率自転車の開発を目標とする。今期は、ペダル踏み込み時の膝関節角度変化が踏力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。



図 1 リカンベント型自転車

## 3. 期待される効果

高効率駆動可能な自転車を開発できれば、体にかかる負担を低減できるため、より快適に移動や運動が可能となる。これにより、脱炭素化社会の実現に向けたパーソナルモビリティの発展に寄与できる。さらに、体力的に不安を抱えていた高齢者や新型コロナの影響で在宅勤務が続いて運動不足状態の社会人などの健康増進を図ることができ、国民の健康寿命延伸に貢献できる。

## 4. 研究の経過及び結果・評価

### 4.1 実験方法

踏力：4秒間のペダル踏み込み動作中の踏力の測定を行った。測定はひずみ測定器（PCD-300B：共和電業社）を用いてサンプリング周波数は200Hzで行われた。表面筋電位：4秒間のペダル踏み込み動作中の表面筋電位の測定を行った。測定にはデータロガー

（BiologDL-2000：S&ME社）を用いてサンプリング周波数は1000Hzで行われた。被検筋は内側広筋，外側広筋，大腿直筋，大腿二頭筋，半腱様筋，大殿筋の計6部位とした。関節角度：シート・BB間距離の調節および，4秒間のペダル踏み込み動作中の膝関節屈曲角度の測定を行った。測定にはデータロガー（BiologDL-2000：S&ME社）を用いてサンプリング周波数は1000Hzで行われた。



図2 実験風景

実験協力者はスポーツ自転車経験のある心身ともに健康な男子大学生4名とした。

等尺性収縮運動のペダル踏み込み動作時における筋活動量を評価するため，測定された4秒間の表面筋電位のデータの内から3秒間データを用いて，幅50msでRMS処理を行った。

その後実験協力者ごとに各被検筋ごとに測定された表面筋電位の最大値を100%として正規化を行い，%EMGとして表した。そして，各条件の3試行分のデータの平均を取り，それを各条件の値とした。条件間でペダル踏力の比較を行うため，被験者ごとに各条件の3試行分のデータの平均を取り，それを各条件の値とした。膝関節屈曲角度についてペダル踏み込み動作時に条件の値 $\pm 10$ の誤差が生じた為，条件ごと3試行分の平均を用いて膝関節角度を表した。

### 4.2 結果

被験者全員分のペダル踏力と測定時の膝関節屈曲角度と2次の多項式近似曲線をグラフに示す（図3）。ペダル踏力の値は膝関節屈曲角度 $25^{\circ}$ 付近で最大となり，伸展・屈曲するほど値が小さくなる傾向がみられた。相関係数は $-0.691$ で，有意水準1%で無相関検定を行った結果，有意な強い負の相関が認められた。筋活動量については膝関節が伸展するほど，内側広筋，外側広筋，大腿直筋の値は小さくなり，大腿二頭筋，半腱様筋，大殿筋の値は大きくなる傾向が観察された。しかし，相関は見られなかった。



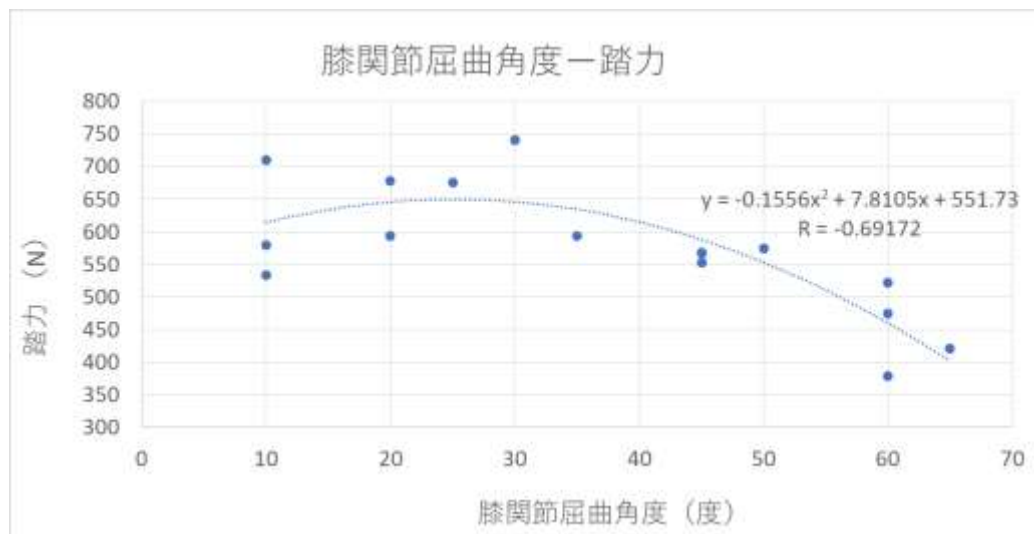


図3 膝関節屈曲角度とペダル踏力

#### 4.3 考察

本実験において膝関節屈曲角度 25 度付近でペダル踏力が最も大きくなり、これより屈曲・伸展してもペダル踏力が小さくなった。ペダル踏力と膝関節屈曲角度には強い負の相関が認められた。筋の張力はその長さおよび収縮速度で変化するため膝関節屈曲角度 25 度付近に筋の張力が最大となる至適長が存在すると考えられる。しかし、筋活動量と膝関節屈曲角度については相関がみられなかった。今回測定した被験筋は大腿部の表層筋である。これ以外の筋活動量については不明であるが、体幹部がシートバックに対し加える力がペダル踏力の変化に影響を与えている可能性が考えられる。

#### 5. 今後の計画

リカンベント型自転車の高効率化には膝関節屈曲角度 25 度付近において高いペダリング効率を実現できる新方式のクランク開発を行い、その効果を検証する予定である。

#### 6. 研究成果の発表

[1]山内 伊織, 保坂 尚輝, 片山 遼介, 高尾 秀伸:”リカンベント型自転車のペダル踏み込み時の下肢関節角度変化が踏力に及ぼす影響”, 第 29 回日本人間工学会システム大会, セッションⅢ-1, 2021.3

※研究奨励賞を受賞