

令和3年度

修士論文要旨集

高知大学大学院 総合人間自然科学研究科

理学専攻 応用理学コース 情報科学分野

理工学専攻 情報科学コース

自律型ロボットの移動計画問題における道路地図の再利用の研究

応用理学コース 情報科学分野

天 川 航

人間がロボットに動作そのものを伝えずに、目標を伝えるだけでロボット自身が目標達成に向かって動作を計画する自律型ロボットの実現はロボット工学の最大の目標の一つとされている。ロボット自身が動作を計画するには自身が動作する環境の情報を手に入れ、障害物にぶつからないように移動を計画していく必要がある。本研究室では、移動計画問題の中でも平面における自律型ロボットの移動計画問題を研究テーマとして取り扱っている。ロボットが動けるスペースを含む空間を台形地図で表現し、台形間の移動を計算するためにロードマップを作成して探索することで、今居る地点から目標地点に移動するための経路の算出を行う。

ロードマップ上の移動を計画する上でよく利用されるのが幅優先探索である。幅優先探索の特徴として、出発点と目標点をつなぐ経路が存在する場合、必ず最適な経路を見つけられるので有用である。しかし、幅優先探索はすべてのノードに対して網羅的に探索を行うためロードマップが複雑になるにつれ計算量が指数関数的に増えていく。出発点や目標点が何度も更新されるなど複数回の移動を想定すると、その都度幅優先探索を行うことで増える計算量を少しでも削減したい。

そこで自身の学士研究で提案したのが、一度探索したロードマップを再利用して経路を算出する手法である。具体的にはまず、ロードマップ上で幅優先探索を行った点から出発点までの経路と目標点までの経路の2つを算出する。この作業は出発点と目標点の先行頂点を最後まで辿ることによる単純な作業で行うことが出来る。次に、探索開始点から目標点までの経路を反転する。探索開始点を軸として2つの経路を繋げると始点から終点までの経路を算出することができる。2つの経路に共通部分が有る場合は相殺処理を行うことによって一度行って戻るような冗長性の無い経路を算出することができることを示した。

本研究では学士研究で提案した手法の有効性を検証した。はじめに、提案手法で求めた経路がどの程度従来手法で求めた経路と一致するか網羅的に比較実験を行った。その結果、従来手法より経路が悪化する場合が多数見られたが、特定の条件下で従来手法と同等の経路を得られるのではないかといた予想を立てることが出来た。そこで、有効に働く条件下では提案手法を用い、そうでない時には従来手法を使うような切り分けアルゴリズムの作成を目指し、その条件を発見することを研究目標とした。

比較実験を行っていく中で、有効に働く条件の一つとして「探索開始点から出発点の経路の中に目標点があるならば提案手法と従来手法の経路と一致する」という予想を立てることが出来た。この予想を実験で検証すると、一部の例外を除いて正しいということがわかり、その例外も違う経路だが同じ経路長だという事が分かった。さらに、この予想は出発点と目標点を入れ替えても成り立つことが実験的に証明でき、2つの条件を組み合わせると実験環境の出発点と目標点の組み合わせ全体の半分以上を網羅することが出来ると判明した。よって、この条件を元に切り分けアルゴリズムを作成した。

高知県では、著しい過疎化の影響により、中山間地域の高等学校の存続維持が困難になっている。平成26年10月に策定された県立高等学校再編復興計画において、過疎化が著しく近隣に他の高等学校がない地域の学校は、特例として1学年1学級20人以上を条件として、最低規模での維持が決定された。しかし、1校あたりの教員数が非常に少ない状況が維持されることとなり、これに加えて、若手教員の授業に対し指導可能なベテラン教員の大量退職・採用の時期を迎えていることから、特に若手教員の早期の指導力向上が求められている。

教員の指導力を維持・向上させる仕組みとしては研究授業が知られている。本授業では、指導担当教員や学校長など、複数の教員が若手教員の授業を評価して助言を与える指導を行う。若手教員はこの指導を受けて、自己の教科指導を振り返り授業改善を行う。その有効性が実感されていることは、先行研究による高知県公立高等学校の教員127名を対象としたアンケート調査の結果からも明らかになっている。しかし、中山間地域では研究授業の形骸化が進んでおり、その原因として研究授業に参加する教員の確保が難しいとの指摘も多く、教員数の少なさに加え、多忙な校務により同じ学校の教員でも参観が困難であること、中山間地域に特有の学校間の距離的な要因などにより、外部からの指導担当教員の来訪が困難であることなどに起因している。

そこで本研究では、研究授業レビュー支援システムの構築を目的として、学習指導案の電子化や、授業の様子を収録した動画の提示などを用いて、遠隔非同期により研究授業をオンライン上で「再現」する環境と、再現された授業に対するレビュー作業を実現する支援システムの開発を行った。研究授業をオンライン上で再現するには、授業者だけでなく、生徒や授業資料など、複数の対象を同時に異なる視点から撮影することが必須である。しかし、一般的な遠隔講義システムでは複数アングルによる撮影を考慮されていない。よって、本研究では新規にマルチアングルによる動画撮影と利用方法を提案し、支援システムの試作による有効性の検証を目指した。

本システムでは、授業者以外に生徒の様子も収録するため、個人情報保護の観点から動画の扱いに慎重を期す必要がある。よって、学校環境内ではセキュリティ面から、ダウンロード再生やストーリーミング再生など一般的な動画配信サーバの設置は難しい。よって、本研究では、再生開始時間による実時間性を検討し、独自の動画配信・再生方法を開発した。また、提示された複数の動画に対するレビューを行う方法は確立されておらず、従来のテキスト記述による指摘作成方法を用いると記述量が多くなりレビューの負荷が高くなることも容易に予想された。そこで、実際の研究授業における指摘内容を分析・検討し、マルチアングル動画を前提とした新たなアノテーション作成手法を提案・実装した。本研究では、以上を踏まえたマルチアングル動画を対象とする研究授業レビュー支援ツールを開発し、遠隔非同期によるレビュー支援環境を実現した。また、提案した手法によるレビュー作業の有効性を検証するため、従来のレビュー方法と開発した本支援ツールにより得られたレビュー結果の比較による評価実験と評価を行った。検証の結果、マルチアングル動画によって、一つのアングル動画提示では得られないタイプの指摘が数種類新たに得られることが分かり、被験者へのインタビューとアンケート結果からも、マルチアングル動画提示を用いた研究授業レビュー支援システムの有効性を示すことができた。

標数2の有限体上の楕円曲線を利用したペアリング暗号の高速化

情報科学コース

森崎 嵩大

計算機性能の向上によって、現在主流である RSA 暗号はより長い鍵長が必要となり、ハードウェアへの負担が増大しつつある。楕円曲線暗号は RSA 暗号よりも遥かに短い鍵長で同程度の強度を持つため、近年実際に用いられるようになってきた。さらに楕円曲線を用いたペアリング暗号が実用化できれば、ID ベース暗号やプロキシ暗号などの複雑かつ高度な暗号方式を実現することができる。しかしペアリング暗号は RSA 暗号に比べて処理に時間がかかるため、実用化するには処理時間の短縮が必須となる。

本研究室では 2019 年度の牧角の研究『ペアリング暗号の計算時間削減手法の研究』において計算ルーチンの工夫を行い、大きな標数 p 有限体上の楕円曲線によるペアリングの処理時間短縮に成功している。

本論文では標数 2 の楕円曲線に着目した。標数 2 の場合は①処理時間の短縮という課題に加え、②適切な標数 2 の楕円曲線の選択が難しいという課題があった。本論文ではこれらの課題を解決した手法と、Java を用いて実装したプログラムによる実験結果を述べる。

① 計算ルーチンの高速化のために、まず体上の多項式を 2 進数整数として表現し、基本的演算をビット演算に置き換えた。これにより、配列で多項式を表現するよりも計算速度が向上する。次に多項式乗算アルゴリズムにおいて、積の順序を適正に入れ替えることにより、更なる計算速度の向上を確認した。最後にペアリング計算に用いる Miller のアルゴリズムに「移動窓法」と呼ばれるテクニックを用いた。具体的にはアルゴリズム内で繰り返し使用する値を事前に計算しておき再計算の手間を省いている。

② 標数 2 での楕円曲線の選択については、本来であれば ordinary な楕円曲線を用いるのが望ましい。しかし ordinary でペアリング暗号に利用できる楕円曲線は適切なサイズのものが存在しない。supersingular な楕円曲線であれば、埋め込み次数が 1, 2, 3, 4 の 4 通りに限られるなど自由度は少なくなるが、その中からペアリングに適したものを選ぶことは可能である。そこで本研究では supersingular なものを用いることにした。

実験は Tate ペアリングを用いて行った。まず鍵サイズがほぼ等しい標数 2 と標数 p の楕円曲線を用いたペアリングの計算速度を比較した。結果として標数 2 のペアリングの処理速度を、既に使いやすく整備された標数 p のペアリングの処理速度と同程度にまで向上させることに成功した。

次に標数 2 の楕円曲線同士を用いて埋め込み次数別に比較した結果は、鍵サイズが大きい時は埋め込み次数が高いものほど処理が速くなった。これは、埋め込み次数が高いと楕円離散対数問題に対するセキュリティレベルが下がるので、処理速度と暗号強度がトレードオフの関係にあることを示しており、実用に際してはその点を考慮する必要がある。

本研究によって標数 2 のペアリング暗号の実用化への一つの手法を示すことができた。

ポータブルホログラフィックプロジェクタを用いた三次元映像投影

情報科学コース

森口嘉軌

ホログラフィは、光を三次元物体へ照射し、その物体から反射等によって生じた光（物体光）を忠実に記録・再生できる技術である。照射した光と物体光によって生成された干渉縞を記録したフィルム等の二次元媒体をホログラムという。記録する際に用いた光をホログラムに照射することで元の三次元物体が再生される。コンピュータを用いることで三次元物体から放たれる物体光の広がりを計算で求めることができる。コンピュータで計算されたホログラムを計算機合成ホログラム（CGH：Computer-Generated Hologram）という。電子化したホログラフィ（電子ホログラフィ）では、CGHを電子表示装置である空間光変調器（SLM）に表示する。SLMに表示されたCGHに光を照射することで物体光が再現され、空中に三次元物体が映像として再生される。再生される立体的な空中像はSLMを覗き込むことで人の目で確認することができ、これは虚像である。このとき、SLMを挟んで虚像とは反対側に実像も再生される。この実像も立体映像であり、スクリーンに映すことが可能である。元の三次元物体と同じ形状をした立体スクリーンを再生される場所に置くと、立体的な実像を確認できる。このように、電子ホログラフィを用いて三次元映像を投影する装置をホログラフィックプロジェクタという。

本研究では、ホログラフィックプロジェクタを小型化し、立体物の全周へ三次元動画をリアルタイム投影する装置を開発する。小型化することで持ち運びが容易となることから、このホログラフィックプロジェクタをポータブルホログラフィックプロジェクタと呼ぶ。2台のポータブルホログラフィックプロジェクタを用い、立体物の表と裏面へ三次元動画を同期して投影し、立体物の全周投影を実現する。投影に用いるCGHは、点群で構成されたポイントクラウドモデルの三次元物体からコンピュータを用いて計算により作成される。リアルタイム投影を実現するには、1秒間に30フレームの速度で三次元動画を投影しなければならない。全周投影の場合、三次元動画の各フレームにおいて、立体スクリーンの表と裏面に投影する2枚のCGHが必要となる。つまり、全周投影をリアルタイムで行うには、1秒間に60枚のCGHを計算しなければならない。そこで、CGHの高速計算を実現するために、6枚のGPUを搭載した1台のPCを用いた。GPUで計算された表および裏面投影用CGHは、PCから各ポータブルホログラフィックプロジェクタに転送される。計算されたCGHを受けとった2台のポータブルホログラフィックプロジェクタは、立体スクリーンの表および裏面に同期して三次元映像を投影する。

最終的に、2台のポータブルホログラフィックプロジェクタを用いて、13832点からなる、三次元物体の動画を立体スクリーンにリアルタイム全周投影することに成功した。

GPU を用いたレイトレーシングを含む実時間インタラクティブ電子ホログラフィ — 隠面消去と光色を持つ点群生成 —

情報科学コース

濱田端三

ホログラフィは三次元物体から発せられる物体光を忠実に記録・再生できる技術である。ホログラフィによって再生される立体像は、視覚疲労もなく様々な角度から眺めることが可能である。このことから、コンピュータで計算されたホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) によって電子化されたホログラフィ (電子ホログラフィ) は、“究極の三次元テレビ”になるものと考えられている。しかし、CGH の計算量が膨大であることが実用化を妨げる大きな要因となっている。

三次元物体を点群で表したポイントクラウドモデルによる CGH 計算は、画素ごとに独立して計算されることから並列処理に向いている。当研究室では、GPU (Graphics Processing Unit) を用いた CGH 計算高速化に関する研究を行っており、顕著な計算高速化を実現している。特に、複数の GPU を搭載したマルチ GPU クラスタによるリアルタイム電子ホログラフィの研究では、これまでに数多くの研究成果を挙げている。

しかし、CGH 計算に用いる三次元物体の点群データはあらかじめ用意されたものであった。リアルタイムかつインタラクティブな三次元映像の再生を実現するには、解決しなければならない課題が存在する。CGH 計算に用いる三次元物体において隠面に物体点が存在すると、再生される三次元映像においても隠面の物体点が再生される。視点によっては隠面の物体点が見えてしまう。さらに、CGH から再生されたすべての物体点の明るさが等しいと、陰影が表現されないため三次元映像として捉えることは容易ではない。

近年、光源などから出た光の屈折や反射を計算し、リアルな映像をリアルタイムで作り出すことのできるリアルタイムレイトレーシングが話題となっている。レイトレース専用コアを搭載した GPU により、三次元物体の光色をリアルタイムで計算することができる。また、当研究室では、再生する物体点の明るさを自在に調整可能な重み付きバイナリ CGH (BW-CGH) を提案している。

本研究では、ユーザが変形操作した三次元物体を空中に再生する実時間インタラクティブ電子ホログラフィの実現を目的とする。そのため、ポリゴンで構成される 3DCG モデルからレイトレーシングにより隠面消去された光色を含む点群を生成する。そして、生成された点群から BW-CGH を作成し、空間光変調器に表示する。最終的に、一連の処理を 1 枚の GPU (NVIDIA GeForce RTX 3080) によってリアルタイムかつインタラクティブに動作させることに成功した。この成果は、ヘッドマウントディスプレイ等のニアアイディスプレイへの応用が考えられる。

並列分散処理による植生指標の季節変動モデリングの高速化

情報科学コース

棚瀬旺和

現在多数の地球観測衛星が取得したデータが日々地上に送信・蓄積されて、いわゆるビッグデータを形成している。そのような衛星画像から生成されるデータの一つとして植生指標 (VI, Vegetation Index) がある。植生指標は植物の活動度を示す指標で、植物が可視光域に比べて近赤外の反射率を強く反射することを用いて、可視、近赤外で撮影された画像から求められる。このようにして取得された植生指標データは、耕作物の刈り入れ時の推定や生育状況の推定を行うなど農業や森林の管理の IT 化などにおいて利用される。また、地球温暖化の影響によるグローバルな植生の変化や、原因としての森林伐採や災害分野での小規模な地滑りの発見など、様々な分野でも利用される。特に植生の活動の変化や植物の種類を知る上で特に手がかりとなるのが植生指標の季節変動である。

Honda (2006), 吉岡 (2008) は NASA の地球観測衛星 Terra に搭載されている MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, 中分解能撮像分光放射計) の観測結果から生成された植生指標の 1 種, MODIS EVI (Enhanced Vegetation Index) に対し, 1 年の変動を春から夏, 秋からに対応する区分化されたロジスティック関数で, 多年に繋ぎ合わせたモデルとして表現し, このモデルパラメータをノイズや欠落に対して頑健な MAP (Maximum a posterior) 法で求める手法を提案した。西前ほか (2014) はこの処理を分散処理フレームワーク Hadoop で実装し, 大量の時系列画像からの時系列抽出とその時系列に対するモデリングの両方に対して分散処理のノード数に対するスケーラビリティを確保できる手法を提案した。これらを基盤として, 福見 (2016) は四国地方の 14 年間のデータに対してこの手法を適用し, 得られたモデルパラメータをクラスタリングして, 植生指標の季節変動が類似した 4 グループの空間分布を求め, 降水量などの外部環境による植生変化を先験的知識なしに検出できることを示した。しかしいずれにおいても植生指標の変動モデルを作成する計算には反復計算による逐次計算を要するため計算時間がかかることが問題であり, 例えば福見 (2016) では数百分の 1 という極端な間引きをせざるをえなかった。グローバルなデータに対する処理や, ローカルに空間解像度の高い分析を行おうとするとさらに高速な計算が求められる。この問題は分散処理だけでは実現することが難しく, 並列処理を組み合わせることが必要である。

本研究ではより高速なモデリングの実現を目的として, 分散処理フレームワーク Hadoop の後継である Spark と CUDA を介しての並列計算を可能にする Numba などの並列処理ライブラリを組み合わせることによって, 分散処理システムに GPU を用いた並列化をとり入れることによる高速化を試みた。実装には Python 上で実行できる PySpark, Numba を用いた。実験の結果, 各種ツールのバージョンのマッチングなどの問題で GPU モードが起動しなかったため, CPU モードでのみの評価を行なった。時系列数を 100, 1600 と変化させて, 従来の Hadoop-Tez と計算時間の比較を行なったところ, 時系列数 100 に対して, Hadoop が 680 sec, Spark+Numba が 555sec, 1600 に対して Hadoop が 9960 sec, Spark+Numba が 9600sec となった。わずかに Spark が早かったがその差はデータ数の変化に比して小さかったため, 計算時間はほぼ同じで Spark の方がややオーバーヘッドが小さいものと考えられる。また限られた範囲ではあるがスケーラビリティの実現が確認された。例えば実験環境の GPU である NVIDIA GTX1080Ti に含まれる CUDA コアは 3584 であるため, GPU モードの起動によって計算時間の大幅な短縮が期待できる。

遠隔教育のための教師映像付き授業コンテンツ生成システムの開発

情報科学コース

岩本 拓巳

高知県の中山間地域の高等学校で行われている遠隔合同授業では、受信側教室の前方に2つの大型モニタが並べて配置されることが多い。このとき、片方のモニタには配信側教室の様子が映っており、もう片方のモニタは双方の教室から書き込みなどが行える電子黒板で、授業コンテンツを映した画面が共有されている。受信側教室にいる生徒は、必要に応じてそれぞれのモニタを見る必要があり、目線の切り替えが頻発してしまう。先行研究ではこの目線の切り替えを軽減するため、電子黒板に表示されている授業資料の上に半透明の教師のシルエットを重ねて描画する教師シルエット描画システムの開発を行なった。これにより、生徒は目線を切り替えることなく教師が手で指し示している箇所を確認しながら授業資料を読むことができるようになった。

コロナ禍により大学でも Zoom や Teams などの Web 会議システムを用いた遠隔オンライン授業やハイフレックス型授業を行うことが増えてきたが、教師シルエット描画システムを使用することにより、Web 会議システム上でも教師が配信する授業資料の画面上に教師のシルエットを重ねて描画することが可能である。そこで本研究では、遠隔オンライン授業やハイフレックス授業に適した授業コンテンツ映像の生成方法を考案することを目的とする。具体的には、授業スライドや教師のコンピュータの画面などの授業資料と教師の映像をどのように合成すると適切であるかを検討する。

本研究では教師シルエットの領域の切り抜きは RealSense で取得した Depth 映像をもとに行う。既存の教師シルエット描画手法では、全画面表示した授業資料の上に半透明の教師シルエットを重ねて表示していたが、実際に大学で開講されたハイブリット型授業を撮影したところ、教師は対面の受講生が見やすいように電子黒板の横に立って説明する時間が長いことが確認された。そのため、そのままの描画手法を用いると、生成した授業コンテンツ映像にはほとんど教師の姿が映らず、映された教師シルエットも指し示す手のみであることが多くなってしまった。そこで、新たな映像合成の手法として、授業を撮影した RGB カメラ映像の電子黒板の領域に電子黒板で表示中の画面の画像をはめ込む手法を提案する。この映像合成手法では、カメラで撮影されたことにより不鮮明となった電子黒板の画面を鮮明に映すことができる。なお、教師が電子黒板の前に立つ、あるいは電子黒板を指し示しているときは、はめ込む画面画像から教師シルエットの領域を切り抜くことにより、教師の姿が隠れてしまわないようにしている。これにより、教師の映像と授業資料を共に映し出すことが可能となるため、遠隔オンライン授業やハイブリット型授業においても、対面授業のような臨場感を出しやすくなると思われる。

本修士論文では、開発した教師シルエット生成システムや、新たに提案した映像合成手法を用いて開発した授業コンテンツ映像生成システムの概要について解説する。また、教師シルエットを授業資料に付与するよりも授業資料をカメラ映像にはめ込んだ動画の方が受講生に好まれ、なおかつ、授業資料と被る教師の姿を半透過して表示した方が受講生の評価が高いのではないかと仮説のもと、提案手法が有用であるか検証するために比較実験を行なった。理工学部情報科学科の学部生 28 人から回答を得た評価アンケートの結果より、仮説が正しく、提案した映像合成手法が授業コンテンツ動画生成において有用であることが確認できた。

チームでの利用を想定した習慣化支援アプリにおける通知機能の開発

情報科学コース

植野 優希

知識や技術の修得のためには、学習行動を継続して実施する新たな学習行動の習慣化が重要である。他にも、健康維持や改善のための運動の習慣化のように、良い習慣を身につけたいというニーズは多く存在する。しかし習慣化には長い期間を要し、継続するモチベーションを1人で維持することは容易ではない。そこで著者が所属する研究室では、スマートフォンアプリをユーザインタフェースとする習慣化支援システムの開発を行っている。

これまで開発してきた習慣化支援システムは、習慣化したい行動の予定を登録・管理できるスケジュール機能や、登録した予定の実施時間を知らせるリマインダ・アラーム機能などをベースに、家族や学校の友人など身近な人でチームを作り、チームの中で互いに励まし合うエール機能を持つ。エール機能により、同じチームのメンバからエールが送られると、予定の開始時刻が来たことを知らせる通知文にチームメンバからエールが届いていることが示される。身近な人からのエールが届いていることを知らせることで、人を意識させ、通知を安易に無視できなくなることを期待されている。しかし、本アプリを用いて習慣化に取り組むということは、ユーザは、習慣化したい行動を継続するだけでなく、予定の登録・管理やチームメンバへのエール送信を継続できるようにならなければならない。また、チーム内でエールのやり取りが活発に行われなくなると、チーム内のモチベーションが低下しやすいことが先行研究にて懸念されている。そのため、ユーザが習慣化したい行動だけでなく予定の登録・管理やエール送信も含めた行動の継続支援や、チーム内のメンバ間で習慣化を協力し合える機能をエール機能以外でも提供することが必要であると考えた。

そこで本研究では、チームメンバの行動予定と同じ時間帯に行動の予定を立てることを促す同期行動促進機能の提案を行う。本機能により、チームメンバの誰かが予定を登録すると、ユーザは、システムを通じてチームメンバから同じ時間帯に行動を実施すること（同期行動）の誘いを受けることになる。したがって、これまでは予定の計画や登録をユーザの自主性に委ねていたが、本機能は予定を登録することの心理的な負荷を軽減する支援になることが期待できる。また、都合が合わないなどの理由で同期行動ができない場合は、チームメンバからの誘いを断ることになるため、断りの連絡と併せてエールを送れるようにすることで、自然にエールを送信するよう仕向けていることになる。このことから、同期行動促進機能は予定の登録・管理やエール送信の継続支援を担うことができると考えている。また、予定開始を知らせるアラーム通知においても、一緒に同期行動を実施するチームメンバの動向を知らせることで、行動を実施することに対して強く動機づけを与えられると期待できる。さらに、予定を登録するだけで他のチームメンバに対して同期行動に誘うことになるため、エール機能より容易にチームメンバ間で習慣化を協力し合える機能として提供することができる。

本修士論文においては、以上の内容に加え、同期行動促進機能の追加に伴い複雑化する通知方略について整理し、通知方略を実現するために開発したアプリの通知機能について説明する。iOS, Android それぞれに存在するサードパーティアプリに対する通知機能に関する制限について言及し、実装が困難なアラーム通知を実現するために行った検討内容についても報告する。

遠隔合同授業内の机間指導を実現する授業者支援システムのプロトタイプの開発

情報科学コース

古澤 駿人

中央教育審議会できりとまとめられた第3期教育振興基本計画では、多様性ある学習や専門性の高い授業等を実現させる観点から、遠隔教育の推進が図られている。高知県においても、小規模校の生徒の教育機会の確保や多様かつ高度な教育に触れる機会を提供すること等をねらいとして遠隔教育の導入が進み、遠隔教育システムを用いた遠隔合同授業の実践が平成27年度から開始されている。しかし、遠隔地の教室間をつなぐ遠隔合同授業において、対面授業での机間指導のように生徒一人一人に対する個別指導を行うことは、既存の遠隔教育システムでは困難である。生徒全員にタブレット等の情報端末を使用させながら遠隔合同授業を実施するという方法も考えられるが、ノートやプリント等の紙に書くことを重視した授業には対応できない。

そこで本研究では、遠隔合同授業で、授業者がリアルタイムに遠隔地の教室にいる生徒の様子を個別に把握し、指摘や指導ができるシステムを提案した。提案システムは、電子黒板やネットワークカメラとモニタ等で構成された遠隔会議システムがベースの既存システムをそのまま利用し、併用する想定である。提案システムは、受信側教室の生徒用デバイスとサポート教員用デバイスと、配信側教室の授業者用デバイスから構成されるが、サポート教員用デバイスと授業者用デバイスはユーザインタフェースを共有することになる。つまり提供するユーザインタフェースは同じものになるため、プロトタイプの開発においては、提案システムから授業者用デバイスを省略して開発を行った。

開発したプロトタイプの生徒用デバイスは、魚眼レンズ付きカメラと小型プロジェクタのみが接続された Raspberry Pi 4 であり、各生徒の机に固定されている。小型プロジェクタは、サポート教員用デバイス (Surface Pro 7) 上でペンを使って手書きされたデータ等を生徒の机の上に投影するために用いられる。魚眼レンズ付きカメラは、生徒の机と顔に向けて撮影し、生徒の顔の領域、生徒の機の領域、プロジェクタの投影領域の3領域に切り分け、サポート教員用デバイスに配信するために用いられる。基本的にはサポート教員用デバイスがサーバとなり、各生徒のデバイスがクライアントとして接続する構成で動作しており、サポート教員用デバイス上で選択した生徒のデバイスとサポート教員用デバイスとの間で、音声は双方向にやり取りすることも可能である。実装したこれらの機能により、教員は選択した生徒の机を見ながらペンで手書きすることで生徒の机に対して書き込みが行えることになる。またその際にその生徒と個別の会話を行うことができるため、机間指導と同等な個別指導を行うことが可能となる。

開発したプロトタイプの動作検証を行い、見取りと机間指導をするために十分な性能を備えているかを確認した。見取りについては、サポート教員用デバイスで生徒の机に置いたプリントの文字を読み取ることができるか、生徒用デバイスからサポート教員用デバイスに配信される映像の遅延がどの程度あるかを検証し、見取りをする上で支障がないことを確認できた。また、机間指導については、サポート教員用デバイスで手書きした文字が生徒の机に投影されるまでにどの程度遅延があるか、生徒の机を見ながら書き込んだ手書き文字がプロジェクタに投影される際にどの程度ズレが生じるかを検証し、机間指導を行う上で支障がないことを確認できた。

スピーカアレイを用いた視覚障害者への情報提示装置 – 図形における動的情報の提示 –

情報科学コース

奥宮 瑞貴

本論文は、著者が高知大学学部生として同研究室の竹内とともに行なった“スピーカアレイを用いた視覚障害者への情報提示装置の提案 – 音移動による情報提示の実験 –”の研究に、2年間の高知大学院生としての研究から得た知見を加え、新たな観点からまとめた論文である。

視覚障害者が文字や図形などの視覚的情報を得る手段として、触覚や聴覚を用いた代替え手段が存在する。文字などの言語化可能な情報は、音声読み上げソフトや点字により視覚障害者が情報を得やすくなってきている。また、図形などの言語化が困難な情報は、触図によりその形を視覚障害者へ提示することが可能である。実際、盲学校などの視覚障害者の教育現場において、様々な物理現象や生物の構造などを理解するために触図が用いられている。

しかし、触図による表現は万能ではない。触察によって読み取れる情報の量と質は触察能力に依存し、その触察能力自体も多くの訓練時間によって培われるものである。また、触察において誤った認識をしてしまうことが起こりうる。触図は静的なもので、時間によって変化する動的情報を含んだ図形の表現が困難である。よって、触図とは異なった新たなアプローチで動的情報を含んだグラフィカルな情報を視覚障害者に提示する方法、あるいは、触図と組み合わせることで触図の強みを活かしつつ触図の制約を緩和する方法の研究が必要である。

本研究では、複数のスピーカを用いて音像を移動させることで、触図では表現困難な動的情報の表現をしつつ、即時の認識が可能な情報提示装置の開発を目指す。更に、その情報提示装置として、複数のスピーカを2次元のアレイ状に配置し、各スピーカを無線通信によって制御する“スピーカアレイ”の製作も行なったので併せて報告する。製作したスピーカアレイを用いて構成が複雑ではない基本図形を提示し、スピーカアレイの実際の動作や実用性を確認することを目的とした“図形の角認識”、“音の種類”、“スピーカ配置”の3項目の検証実験を行なった、さらに、図形の形状認識に関する“提示時間と直線・曲線の認識変化実験”と“動的情報の提示実験”の2つを実施した。

図形の角認識実験では、角の部分を強調させた場合の方が認識精度が高い。また、現段階では音の長さや角の個数による認識の比重が大きかったため、角を強調させなかった場合において音源の位置がほとんど把握できていない。よって、課題として音源定位の精度を向上させる設定の実験・検討が必要である。音に関する初期実験では、音響測定で用いられるホワイトノイズと一般的な判別しやすそうな電子音(正弦波の複合音)の認識精度の差は見られない。また、“音の途切れ”の有用性を検討として、音の移動感に関して時間的・空間的連続性の観点から実験も行い、音の移動感・速度感に関する被験者の所感を得た。スピーカ配置実験では、スピーカ配置が最も密な状態からスピーカとスピーカとの間隔を広げた場合にどのように認識精度が変化したのかを確かめた結果、空間的にスピーカを大きくとった場合において認識精度の向上を確認した。

図形の形状認識に関する“提示時間と直線・曲線の認識変化実験”では、“各スピーカの提示時間の長短によって、被験者が想像する軌跡の直線と曲線の認識が変化する”ことが明らかになった。提示時間が長くなるにつれて、音の移動から被験者が想像する軌跡は直線として認識する割合が増加し、曲線として認識する割合は減少する傾向がある。

動的情報の提示実験では、“動画から得られる視覚的情報”と“スピーカアレイの図形提示から得られる聴覚的情報”とを比較し、スピーカアレイの動的情報表現能力を検証した。その結果、“スピーカアレイを用いて図形の動的情報を提示することが可能である”ことが明らかとなった。今後の課題として、一致度を下げる要因を明らかにし軽減することで、スピーカアレイのさらなる動的情報の表現能力の向上を目指す必要がある。

以上の実験により、基本図形提示における一定の認識精度の確認と、“音の移動感”、“直線・曲線の認識”、“動的情報”に関する知見が得られた。そして、図形の形状や動的情報の伝達を目指すスピーカアレイの情報提示装置としての可能性と、様々な検討すべき課題を示唆した。今回得られたスピーカアレイの“図形の形状認識”と“動的情報の認識”の知見から、本研究は触図と組み合わせる準備が整ったと考える。今後の展望・方針として、図形の形状などの静的情報は触図によって表現し、スピーカアレイではそれらの静的情報と同調しつつも、速度などの動的情報の付加や提示を主眼とした開発を目指す。