

令和4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

理工学専攻 情報科学コース

敵対的生成ネットワークを用いた小惑星画像のマルチスケール超解像

情報科学コース

岸 倫太郎

2020年12月6日、はやぶさ2によって取得された小惑星リュウグウのサンプルが納められたカプセルが地球に帰還した。惑星探査の分野では、このように小惑星などの小天体への着陸やその際に得られたサンプルを地球に持ち帰るミッションが盛んに計画・実施されるようになってきている。こうした小天体への着陸探査においては安全な着陸地点を早期に見つけるために、低解像度の画像からできるだけ高い空間解像度の情報を得ることが必要である。また、そのほかにも、天体への高速フライバイ観測の際に得られる画像の解像度が限られる場合や、光学系の結像性能の悪化による画像劣化の復元などにおいても、低解像度画像から高解像度画像の推定が必要になる局面は多数存在する。このような状況において有用なのが低解像度画像から高解像度画像を復元する「超解像」である。この超解像は先に挙げたはやぶさ2による小惑星リュウグウへの着陸地の推定においても、実際に用いられた。はやぶさ2による小惑星リュウグウへの着陸地の探索において実際に用いられたのは、複数の画像を用いる解析的手法であった。一方で、最近では畳み込みネットワークや敵対的生成ネットワーク (Generative Adversarial Network for Super Resolution: GAN) を用いた超解像が盛んに研究されるようになってきている。これらの超解像は日常画像に対しては高い性能をあげられることが確認できてきているが、小天体上の自然地形のように照明条件によって特徴が様変わりしたり、また色彩が乏しかったりする画像に対しても、同様な性能を確保できるかどうかは明らかではない。また、解像度が大きく異なる画像に対して1つのモデルだけで十分かどうかは明らかではない。

よって本研究では、さまざまな解像度の小惑星画像に対して、GANに基づく手法を利用して、マルチスケールで頑健性のある超解像手法について検討し、その性能を推測することを目的とした。このような条件では空間解像度は既知であることが多いため、空間解像度ごとに3種類の超解像モデルを生成し(高度3, 5, 20km, それぞれ空間解像度0.3, 0.5, 2m/pixelに相当), 未知画像に対しては解像度によってセレクトを通して適当な空間解像度のモデルを選択して使用する手法と、異なる空間解像度の画像を混在させて学習した統合モデルを一律に使用する手法を比較するものとした。また超解像の手法についてはSRGAN (Super Resolution for GAN) とESRGAN(Enhanced Super Resolution for GAN)を比較検討した。実験画像には小惑星探査機はやぶさ2が取得した光学航法カメラ ONC-Tの画像を用いた。

まずSRGANとESRGANの高度3kmの画像での性能比較予備実験を行ったところ、SRGAN, ESRGANの生成画像のPSNRはそれぞれ29.2dB, 31.7dBとなり、ESRGANの方が高く、良く再現できていることを確認した。生成画像のクローズアップの確認からも、ESRGANの生成画像の方が地表面の小さな礫の形状や影まで解像度が高く再現できていることが確認されたため、以降の実験ではESRGANを採用した。高度による分割学習モデルと統合学習モデルでの超解像実験では、高度3km, 5km, 20kmに対して分割学習をしたモデルでの生成画像のPSNRがそれぞれ30.8dB, 32.8dB, 31.7dBであったのに対し、全ての高度の画像を用いて統合学習したモデルでも、30.6dB, 32.4dB, 31.5dBと、僅かな性能劣化しか認められなかった。よって空間解像度の違う画像を混在させて学習しただけでも、その特徴を自律的かつ効率的に学習したものと考えられる。よって本研究の範囲ではマルチスケール性については学習画像に混在させることによって自律的に獲得されたものと考えられるが、今後、より広い解像度や照明条件の画像で検討を行うことが必要である。

耐量子計算機暗号に用いる同種写像計算アルゴリズムの実装と高速化の研究

情報科学コース

境野 圭

現在の情報通信は、RSA 暗号や楕円曲線暗号といった公開鍵暗号に支えられている。しかし、量子計算機の実用化が目前に迫っており、これらの安全性が脅かされることが問題視されている。そのため、安全な情報社会を維持するには耐量子計算機暗号の実用化が必須である。

本研究では、耐量子計算機暗号の中でも楕円曲線間の同種写像 $\phi: E \rightarrow E'$ を用いた暗号に着目した。同種写像は量子計算機を用いても一方方向性関数であることが知られており、Vélu の公式で計算することが可能である。2011 年に Luca De Feo らにより同種写像を用いた Diffie-Hellman 鍵交換 (SIDH)、2016 年に小柴、高島により同種写像を用いた ID ベース暗号 (SIIBE) を実現するアルゴリズムが提案されている。これらのアルゴリズムを実用上問題ない処理時間で動作させるためには、同種写像を高速に計算する必要がある。そこで、本研究では同種写像計算の高速化手法の検討・実装・評価を行った。

同種写像を暗号に利用するためには、まず、小さい素数べき ℓ^e を設定し、有理的な ℓ^e -分点をもつ楕円曲線 E/\mathbb{F}_{p^2} を選ぶ。そして、この ℓ^e -分点を核とする同種写像 ϕ を、核の位数が ℓ の場合の Vélu の公式と楕円曲線上の ℓ 倍算を組み合わせて計算する必要がある。本研究では、同種写像計算中の演算回数を削減する手法を 3 つ提案し、速度の測定を行う。

提案手法の評価実験をするために Java を用いてライブラリを作成した。その中で最も基本的なライブラリは整数アルゴリズム、有限体 \mathbb{F}_p 上の多項式計算、拡大体 \mathbb{F}_q である。これらをベースとして、 \mathbb{F}_p 上と \mathbb{F}_q 上の楕円曲線に関するライブラリを作成した。さらに、SIDH、SIIBE は 2 次拡大体 \mathbb{F}_{p^2} 上での実装が適しているため、2 次拡大体 \mathbb{F}_{p^2} 専用ライブラリを追加した。これにより、当初の拡大体 \mathbb{F}_q ライブラリに比べ、基本演算を約 3 倍高速化した。

同種写像計算中の演算回数を削減する提案手法と実験結果の概略は次の通りである。最も素朴に計算する手法では、Vélu の公式がおおよそ e 回と、 ℓ 倍算がおおよそ $e^2/2$ 回必要である。1 つ目の提案手法は、Vélu の公式の回数を少し増やすことで ℓ 倍算の回数を数分の一に削減する。本手法を実装した結果、 ℓ^e のビット数が 256 のとき、素朴な手法に比べ最大 5.1 倍の高速化に成功した。しかし、計算回数のオーダーは素朴な手法と同じ $\mathcal{O}(e^2)$ であり、改善の余地があった。2 つ目の提案手法も ℓ 倍算の回数を削減するというアイデアは同じであるが、Vélu の公式と ℓ 倍算の組み合わせを最適化することにより、計算回数のオーダーを $\mathcal{O}(e \log e)$ に減らすことに成功した。本手法を実装した結果、 ℓ^e のビット数が 256 のとき、素朴な手法に比べ最大 10.9 倍の高速化を実現した。さらに、3 つ目の手法として $\ell = 2, 3$ のときの Vélu の公式を簡潔に記述し、2 倍算、3 倍算専用の関数を適用した。これにより、 ℓ^e のビット数が 256 のとき、素朴な手法に比べ最大 15.3 倍の高速化に成功した。また、本実験により、同種写像に用いる小さな素数は $\ell = 2, 3$ が適切であることを明らかにした。本研究で最も高速に同種写像を計算できたアルゴリズムを使用した場合、 ℓ^e を 128 ビットとし、素数 p を 256 ビットとしたときの同種写像計算は平均 0.02 秒で動作し、同ビットの素数を用いて SIDH は平均 0.21 秒、SIIBE は平均 0.10 秒で実現可能であることを確認した。十分に高速に動作し、実用上問題ないと判断できる結果となった。

FPGA/CPU 混載型デバイスの動的再構成機能を用いたカスタムプロセッサの開発手法

情報科学コース

塗本 新

近年、急速に IoT(Internet of Things)端末の普及が進んでいる。IoT 端末には小容量のバッテリーで長時間動作可能であることや小型でかつ特定のデータ処理に特化された処理系を求められることがある。特定の用途向けにカスタマイズしたプロセッサを開発することは有効であると考えられるが、開発コストの高さから専用のプロセッサを持つ IoT 端末の普及は進んでいるとは言えない。

FPGA/CPU 混載型デバイスとは、ユーザが設計した論理回路をデバイス上の回路として構成することの可能な FPGA(Field Programable Gate Array)と呼ばれるプログラマブルな電子デバイスと、プログラマブルでないが予め最適化されたプロセッサの両方が搭載された電子デバイスである。本研究で使用した FPGA/CPU 混載型デバイスの CPU 側には ARM プロセッサが搭載されている。

本研究では、FPGA 側にカスタムプロセッサとして RISC-V ならびに周辺回路を構成し、ARM プロセッサから RISC-V の制御を行うことでデバッグの容易な開発環境を構築した。実装の結果として、従来手法と比較し開発効率の向上が見られた。概要図を以下に示す。従来手法ではホストコンピュータ上での作業割合が多く、カスタムプロセッサの実行ファイルの更新には時間がかかっていた。また作成済み実行ファイルおよび FPGA 構成ファイルの再利用時もホストコンピュータ上での操作が必要であり、煩雑であった。またデバッグを行うにはカスタムプロセッサより値を出力し、その値をホストコンピュータにてキャプチャするといった動作が必要であった。それに対し提案手法では、カスタムプロセッサの設計更新や実行ファイルの生成といった作業にはホストコンピュータが必要ではあるものの、その他の作業はすべて ARM プロセッサ上で行うことが可能となっている。また作成済み実行ファイルや構成ファイルの更新も容易に行うことができる。デバッグ作業においても従来手法と異なり参照したい値を UART を通じてカスタムプロセッサ外部に出力する必要はなく、ARM プロセッサからメインメモリの値を直接参照することで検証可能となる。

また、IoT デバイス用途のプロセッサの開発及びデバッグが容易であることの検証として、ユーザ拡張命令の追加を行った。FPGA に関する研究が進むことで、大小さまざまなシステム開発においてソフトウェアのみならずハードウェアの開発を行うという選択肢を増やすことができると考えている。

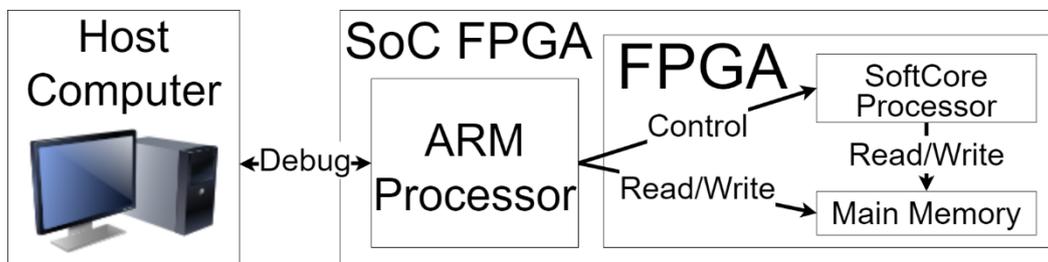


図 提案手法におけるデバッグ方法の概要

敵対的生成ネットワークによる小惑星単色画像からのマルチスペクトル画像の推定

情報科学コース

橋本 廉

小惑星探査機はやぶさ2に搭載された光学航法カメラ ONC-T(Optical Navigation Camera-T) は短波長から順に ul, b, v, Na, w, x, p の可視7バンドからなるフィルタホイールを持ち、このフィルタを通して太陽の反射光を撮像することで、各ピクセルを反射スペクトルとして解釈可能なマルチスペクトル画像を取得することができる。2018年から2019年の小惑星リュウグウの探査では ONC-T の取得したマルチスペクトル画像の分析が、表面物質調査を通じてサンプル取得に大きく貢献した。一方で、ONC-Tはフィルタホイールを回しながらマルチスペクトル画像を取得するため、低高度(通常の高高度20kmに対して2km以下)で撮影する際、フィルタの回転時間に対する直下点の移動が大きくなってしまい、単バンド(v)でしか撮影できなかつたり、7バンドで撮影しても重なりが少なくなつたりするという問題があった。単バンドの画像テクスチャなどの特徴から擬似カラー画像や7バンドのマルチスペクトル画像を推定することができれば、高解像度画像の活用や欠落画像の補完などに活用することができる。このような画像から画像への翻訳問題には、敵対的生成ネットワーク(GAN: Generative Adversarial Network)の一種である pix2pix の有用性が示されている。本研究では、はやぶさ2により撮影された小惑星リュウグウの画像データを対象にして、単バンド画像からの擬似カラー画像、7バンドマルチスペクトル画像の推定を pix2pix で実装し、その性能と特徴を確認し、活用方法を考察した。

実験は、単バンド画像から3バンド擬似カラー画像を推定する予備的な内容と単バンド画像から7バンドマルチスペクトル画像を推定する内容に分けて行った。また、実際の問題に即して、豊富に学習データが存在する低解像度画像の学習結果を高解像度画像に適用する状況を再現した。この際、画像形式は、一般的な8ビットの形式に加え、天文分野等でマルチスペクトル画像に用いられる複数バンドの実数画像形式である fits 画像に対応させた。実験では、実際にははやぶさ2がリュウグウ探査中にローバ投下を行った際に3km付近に滞在して取得した画像と、3kmから166m程度まで降下した時に撮影された画像を用い、高度3kmの画像で学習したモデルを、同じ高度で取得された別の画像と2km以下の高度で撮影された画像に対して適用し、その性能を評価した。この際、生成画像や差分画像による定性的評価とPSNRを用いた定量的評価を行った。ここで単バンド画像は実際の運用で利用されるvバンドとした。

単バンド画像からの7バンドマルチスペクトル画像推定の実験結果より、訓練データと同じ高度3kmと2kmの検証画像に対しては、バンドによるばらつきはあるもののPSNR 25-30dB付近の推測画像を生成することができた。一方高度500m以下の画像では、wバンドでは訓練データと高度条件が大きく違うにも関わらず高度166mを除いてPSNR 30dB画像を生成したものの、波長領域両端のul, pバンドではPSNRが大きく劣化し、特に250m以下の画像ではPSNRが20dBを下回る結果となった。差分画像の分析よりこれらの画像においては空間的な誤差よりも絶対値のオフセット誤差が大きいことがわかった。これは画像に含まれる迷光が低高度で大きくなり、その特徴がバンドによって異なることが影響したと考えられる。よって基本的には低解像度画像から学習したモデルの高解像度画像への適用とマルチスペクトル画像への適用は可能であり、むしろ一部バンドの画像に含まれる迷光などの観測ノイズを除去できる可能性が示された。この他にも推測された画像と実際の画像の差分画像から異常領域を検出するなど、活用の可能性が示された。

食品ロス削減を目的とする深層学習に基づいた モバイル端末向け軽量 Web アプリケーションの研究開発

情報科学コース

馬場 啓帆

近年、先進国を中心に社会的な課題と考えられていることの一つに食品ロス問題が挙げられる。食品ロスとは、本来ならまだ食べられるにも関わらず、廃棄されてしまう食品のことを指す。2021年度の日本国内における食品ロスは約522万トンであり、そのうち約247万トンが家庭内から廃棄されていると推計されている。本研究では、家庭内における食品ロスの削減を目的とした、Progressive Web Application (PWA)の開発を行った。PWAとは、オペレーティングシステム上に直接インストールしてネイティブアプリケーションとネットワーク経由で動作し、自由度の高い開発が可能なWebアプリケーションの両方の特長をもつ新しいアプリケーションの形式である。

本研究では深層学習の画像識別技術と物体認識技術を用いて、リメイクレシピ提案システムと消費レシピ提案システムの2つのシステムを開発した。リメイクレシピ提案システムとは、画像識別技術を用いて、送信された料理画像からリメイク可能なレシピの提案を行うシステムである。食材消費レシピ提案システムとは、物体認識技術を用いて開発され、動画をシステムにアップロードすることで、食材の判定が自動的に実行され、その結果に応じて消費レシピの提案を行うシステムである。この一連の動作を自動化させることによって、料理を作ることへのハードルを下げ、家庭内での食品ロス軽減に貢献できるのではないかと考えた。料理画像を判定する人工知能の作成には、画像認識の分野で幅広く利用されている畳み込みニューラルネットワークによる深層学習を用いた。食材動画を判定する人工知能の作成には、物体認識技術の分野で高い識別率と短時間での識別が可能なYOLOを用いた。本システムの開発には、HTMLとJavaScriptを使用した一般的な方法でWebアプリケーションを作成し、Webアプリケーションと人工知能のやり取りにはPython言語から使用可能な軽量のアプリケーションフレームワークであるFlaskを用いた。また使いやすさを考慮し、Webアプリケーションでネイティブアプリケーションと同等のユーザーインターフェースを提供する技術であるPWAを使用した。

本研究で使用した画像分類を行う人工知能の学習には、畳み込み層8層を含む全10層の畳み込みニューラルネットワークを用いた。物体認識には、Darknet-53と呼ばれるYOLOv3[1]を使用し、畳み込み層44層を含む全53層のニューラルネットワークを用いて学習を行った。

開発したシステムの動作検証を行った結果、リメイクレシピ提案システムでは、スマートフォンにて動作確認を行い、画像をアップロードすることで画面が切り替わり、リメイクレシピの提案を自動的に行うことができた。食材消費レシピ提案システムではスマートフォンおよびPC上で動作確認を行い、PC版では動画を再生することで物体検出と検出結果を出力することができた。スマートフォン上で行った動作検証では動画のアップロードと再生はできたが、結果の一部を表示することができなかつたため改善の余地を残すものの、家庭内の食品ロスを削減するためにモバイル端末の画像・動画撮影機能を利用した使い勝手に優れた軽量なWebアプリケーションを作成できたと考える。今後の課題としては、料理画像判定のWebアプリケーションと食材認識のWebアプリケーションがそれぞれ独立したものであるため、一つのアプリケーションとして統合し、より使いやすいシステムへ改良していきたい。

[1] Redmon J, Farhadi A, YOLOv3: An Incremental Improvement, 2018

ヘテロ型マルチ GPU クラスタシステムによるリアルタイム電子ホログラフィ

情報科学コース

氏名 三谷 永久

ホログラフィは、光を三次元物体に照射し、その物体から反射等によって生じた光（物体光）を忠実に記録し、あるいはその記録から三次元物体の像を再生できる技術である。照射した光と物体光によって生じ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。記録した時と同様の光をホログラムに照射することで、ホログラムに記録された元の三次元物体による物体光が再現され、三次元物体の像が再生される。ホログラフィにより再生された立体像は視覚疲労が生じず、様々な角度から観察することが可能である。また、コンピュータによって計算されたホログラム（Computer-Generated Hologram, CGH）を用いることで、再生する映像を切り替えることが容易になる。このことから、CGH を用い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”になることが期待されている。しかし、電子ホログラフィを実用化するにあたって、CGH の計算に膨大な計算量が必要であることが大きな妨げとなっている。そのため、実用化に向けて、CGH 計算の高速化が大きな課題となっている。

本研究では、点群で三次元物体を構成するポイントクラウドモデルを用いる。ポイントクラウドモデルにより CGH を計算する場合、画素ごとに独立した計算が可能のため、並列計算に向いている。また、CGH は画像として電子表示デバイスに出力することから、Graphics Processing Unit (GPU) に適している。当研究室では、この性質を活かして GPU による CGH 計算の高速化に関する研究を行っている。GPU は年々高性能化しており、世代によってアーキテクチャも変更されている。最新のアーキテクチャに対応した高速な CGH 計算を実現させる研究も行ってきた。さらに、複数の GPU を搭載したマルチ GPU クラスタシステムを構築し、顕著な計算高速化を実現している。しかし、これまでの方法では、三次元動画の各フレームで用いる CGH を、同じ速度で計算する必要があった。そのため、マルチ GPU クラスタシステムにおいて、CGH 計算に用いる GPU は全て同じものを搭載していた。過去の計算資源を有効活用することができれば、さらなる計算高速化を実現することが可能である。

本研究では、異なる GPU を搭載したヘテロ型マルチ GPU クラスタシステムによる、リアルタイム電子ホログラフィの実現を目的とする。演算性能が異なる GPU を用いて効率よく計算を実現するためには、GPU の演算性能に合わせた負荷分散が必要となる。そこで、演算性能の低い GPU では、複数枚の GPU を用いて 1 枚の CGH を計算させるようにした。このようにすることで、演算性能の異なる GPU を用いても、三次元動画の各フレームにおける CGH の計算時間を一定にすることが可能となる。本手法による演算性能を評価するため、3 種類の GPU を搭載した 5 ノードからなる CGH 計算ノード（合計 30 枚の GPU）と、計算された CGH を表示する 1 枚の GPU を搭載した CGH 表示ノード（1 ノード）で構成されたヘテロ型マルチ GPU クラスタシステムを構築した。なお、CGH 計算ノードとして、NVIDIA GeForce GTX 1080 Ti 6 枚を搭載したものを 2 ノード、NVIDIA GeForce RTX 2080 SUPER 6 枚を搭載したものを 1 ノード、NVIDIA GeForce RTX 3080 6 枚を搭載したものを 2 ノード用いた。最終的に、本システムを用いて、約 80 万点で構成されたポイントクラウドモデルの三次元物体を 30 fps で再生することに成功した。また、このヘテロ型マルチ GPU クラスタシステムは、理論上使用する GPU の枚数に制約がなく、無限に CGH 計算ノードを結合することができる。よって、必要に応じて計算ノードを増加させてスケールアウトすることにより、膨大な物体点で構成された三次元物体のリアルタイム動画再生を実現できるものと考えられる。

視覚障害者のための白杖型歩行支援デバイスの開発 -局所ナビゲーションの実現に向けて-

情報科学コース

三好悠太

本論文は、著者が高知大学学部生として行った「視覚障害者のための白杖型歩行支援デバイスの開発 -みちびきを用いた高精度ナビゲーションについての検討 2-」の研究を更に進め、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、視覚障害者のための局所的ナビゲーションについてまとめた論文である。

視覚障害者が歩行をする際、視覚の代わりに音や足の感覚、白杖からの情報、そして周辺の匂いまでも活用している。しかし、いくら注意していてもさまざまな外乱によって、例えば急に話しかけられるなどにより、現在の自身がいる場所をはじめ、自己の置かれている状況や体の向きさえもわからなくなってしまうことがある。このような背景から本研究室では、自己の位置や状況がわからない状況になっても、視覚障害者をサポートし目的地まで安全に誘導することのできる視覚障害者向けのナビゲーションを局所的ナビゲーションと呼称し、その機能や実現に向けての検討を行ってきた。本論文ではこの局所的ナビゲーションに必要な要素である高精度な測位に着目し検討を行った。

屋外における高精度測位の検討では、屋外での視覚障害者の歩行支援を強化するべく、準天頂軌道衛星みちびきによる高精度な測位情報と9軸センサによるユーザの向いている方角をもとに、ユーザが設定した危険箇所までの距離と方向を通知する機能を作成した。これは、本研究室で利用されている、深度カメラからの情報をもとに前方の障害物を検知し、ユーザに音で通知する白杖型歩行支援デバイスと併用する形での運用を想定している。平均誤差94[cm]の精度であり、GPS単独測位の平均誤差10[m]よりも格段に高精度での測位が可能であり、リアルタイムに設定箇所との距離や方向をユーザに通知できることを確認した。

次に、屋内における高精度測位の検討では、各デバイス間の高精度な相互距離が取得可能であるUWB(超広帯域無線通信規格)を複数用いて三点測位をすることで、ユーザの高精度な位置座標を通知できる機能を追加した。単なる2点間の距離の平均誤差は約1[mm]であり、それを利用した位置座標の算出精度は平均7[cm]の誤差であった。アンカーやマップなどの事前準備は必要となるが、センチメートル級の高精度な測位が可能であることを確認した。

これをもとに、局所的ナビゲーションの前段階として、高精度な測位を用いて視覚障害者の歩行の直進支援ができないかを検証をした。人の身体は左右対称ではなく、歩行の際に左右どちらかへ偏ってしまうことがある。晴眼者は視覚をもとに無意識に方向を修正しているが、視覚障害者は視覚での情報がなく、ズレを修正することはできない。これを偏軌傾向と呼ぶ。このような現象から視覚障害者はまっすぐ歩いていると思っても、実際にはイメージ通りに真っ直ぐには歩けず、ホームから転落してしまったり道路に飛び出したりしてしまうことがある。これに起因する死亡事故は後を絶たないのが現状である。

今回の研究ではこのようなズレを高精度な位置測位をもとに視覚障害者に伝え、まっすぐ歩く支援ができないか確かめるため、健常者に視覚障害ゴーグルを装着させた被験者が壁に近づいた際に通知し、壁に接触することなく安全に誘導することができるのかを検証した。

被験者は歩行の際に左の方へ傾いて進んでいたが、システムはそのわずかな偏軌を確実に捉え、軌道の修正を促し、安全に壁と接触することなく直進することができた。このことから、UWBを用いることで視覚障害者への偏軌傾向に対する直進支援の効果を確認した。

遠隔合同授業における見取りを支援するマルチアングル動画の撮影装置

情報科学 コース

(分野)

氏名 森 雅史

高知県では過疎化の影響により、中山間地域における県立高等学校の維持存続が困難となっている。そこで高知県教育委員会では、平成27年度より特例として、国が示す一学年の最低規模を下回る「1学年1学級20名以上」とし、遠隔合同授業の実施やICTの活用も条件に加えることで、県立高等学校の維持存続を図っている。しかし、実際に遠隔合同授業を担当する教員からは、遠隔側の教室にいる生徒の様子を把握することが難しい、所謂「見取り」が行いづらいという意見が多く聞かれることとなった。

指導行為である「見取り」においては、生徒の様子を示す非言語情報の把握が必須となる。しかし、現在導入されている遠隔合同授業システムでは、固定カメラ、マイク、電子黒板などを用いて授業を行うが、これらの機器の活用だけでは、インターネットを介して接続された遠隔教室にいる生徒の非言語情報を同期的に取得することは難しく、通常授業と同等な情報量を確保することが難しい。したがって、本研究では、固定カメラでは撮影できないアングルから、生徒の非言語情報が多く含まれる映像を取得することを目的とした。

本研究の先行研究として行った卒業研究においては、正面カメラのみでは撮影できないアングルの映像を授業者に提示するため、「俯瞰撮影装置の導入」を検討した。俯瞰撮影装置は自律的な撮影制御を必須とするため、まず一般的な小型ドローンが有する加速度センサー・気圧式高度計測センサ・カメラなどを用いた画像認識による自律移動の実装を試みた。しかし、ドローン単体での自己位置推定では誤差が約30cm発生し撮影対象への正確なポジショニングが困難であることが分かった。そこで本研究では、俯瞰撮影装置の姿勢制御を補助するとともに、装置上にカメラを搭載することで新たなアングルの映像を確保することを可能とする「地上観測装置を組み合わせた撮影制御」の提案を行なった。

見取りのため授業中に必要な映像には、3通りの場面が想定される。全体指導では、授業者が全ての生徒に対して発話しながら授業を進める。そのため、生徒個人に対する注目時間が少ないことから、大人数の表情や体の動作を捉える撮影が必要となる。また、黒板前個別指導では、授業者は生徒の筆記動作を確認することで指導する内容やタイミングを把握することができる。また筆記内容そのものは電子黒板で共有されていることから、表出行動の取得を主とした映像の確保も必要である。机間巡視では、手の動きや位置で進捗を判断すると同時に筆記内容によって、具体的な指摘内容を検討することから、机上を撮影した映像が必要となる。本研究では、これら3通りの撮影パターンを前提とした撮影装置の制御方法の開発に取り組んだ。

また、本研究では、各装置が自律的に移動しこれらの対象を撮影するために必要な手順を考察・設計した。本手順では、授業開始前に、地上観測装置によって教室の環境地図を作成する。このような地図を作成することで、地上に存在する障害物や、撮影対象の位置を把握し共有することができる。また天井付近の障害物を検出することで、俯瞰撮影装置による障害検知や自己位置推定を必要としない移動制御が可能となる。さらに、授業中は、地上観測装置は移動を続けながら、地図を更新すると同時に撮影対象となる生徒に接近し撮影を繰り返して実施する。これらの巡回撮影によって従来のシステムでは確保が困難なアングルの映像を確保することを目的としている。

本研究では、複数のアングルからの動画を撮影するための授業状況ごとの撮影パターン、および、撮影機材の検討、更に自律的な撮影制御における必要な手順としての撮影フローの提案を行い、試作した結果を考察し、得られた知見を修士論文としてまとめた。