

Make Brain Project

プロジェクトリーダー：角脇 輝映/Akira Kadowaki

1 背景

近年、人工知能は急速に発展・普及しており、社会生活を送る上で欠かせない存在となりつつある。特に、深層学習や強化学習、生物模倣ロボットなどの分野では、脳をモデルとしたシステム設計が数多く提案されてきた。脳は学習、知覚、判断、身体制御といった多様な機能を持った複雑なシステムであり、単一の視点からその本質を捉えることは困難である。そこで本プロジェクトでは、「脳を作るとは何か」という問いを多面的に検討するため、異なる視点からアプローチする4つの班に分かれて活動を行った。各班はそれぞれ異なる立場から「脳を作る」ことを解釈し、① ゆずりあい班：学習と報酬系、② 自動運転班：知覚・認知・判断、③ 生物模倣班：最小構造から生じる知的行動、④ 脳波班：脳波の分析と応用というアプローチを行った。プロジェクトの背景、動機、これまでに行われてきた事柄を簡略に記述する。

2 到達目標

2.1 ゆずりあい班

待避場所がある狭い道における対向車同士のゆずりあいの実現を目標に掲げ、その達成に向けて以下の2点を課題として設定した。

シミュレーション：強化学習によるゆずりあいの学習

実機：学習したモデルを用いたゆずりあいの実装
これら2点を軸として開発に取り組んだ。

2.2 自動運転班

機械学習を用いて標識・実線/点線の情報をリアルタイムに処理し、発進、停止、線に沿った走行をするAIカーを作成することである。

2.3 生物模倣班

単脚による連続跳躍の実現を最終目標に掲げ、その達成に向けて以下の2点を重点課題として設定した。跳躍機構の設計：エネルギーの蓄積と瞬時解放を両立する機構の構築ハードウェアの設計：必要なトルクを確保しつつ軽量化を図る機体設計これら2点を軸として開発に取り組んだ。

2.4 脳波班

本班では、視覚刺激に対する脳の反応を明らかにすることを目標とし、脳波に関する2つの課題を設定した。課題1では、視覚刺激の提示に伴って生じる脳波の周波数成分や振幅の変化を観測し、刺激と脳活動との関係を把握することを目標とした。課題2では、画像を入力として人工的に脳波を生成し、生成された脳波の時間的な変化や全体的な波形の特徴を抽出することを目標とした。

3 目的を達成するための手法・手段

3.1 ゆずりあい班

ゆずりあいを実現するため、シミュレーションと実機のシステムを構築した。シミュレーションにおける行動の決定には強化学習を採用し、報酬に基づいて衝突回避や待機行動を学習させた。この学習したモデルを実機に適用する手段として、ArUco マーカーを用いて位置推定をした。外部カメラにより ArUco マーカーを認識し、実機の正確な位置・角度情報をリアルタイムに推定することで、シミュレーション上の学習モデルを、物理的な実機環境において再現した。

3.2 自動運転班

標識と走行レーンの認識ができる学習モデルをYOLOを用いて作成した。また、LiDARと呼ばれる赤外線センサを用いた障害物検知を行った。上記の機能を搭載したAIカーを走行させるためにマップを作成した。マップには現在地を取得するためのQRコードを印刷されており、標識とレーンを認識しながら走行できる。AIカーには、Raspberry Pi 5とカメラ2台、LiDARを搭載した。

3.3 生物模倣班

本班の目的を達成するため、3D-CADソフトウェアであるfusion360を活用し、以下の2点を中心とした設計・検証プロセスを遂行した。跳躍機構の設計では、高効率な跳躍を実現するため、引きバネ・歯車・モータを組み合わせたエネルギー蓄積機構の設計検討を行った。モータの回転動力を歯車によって伝

達し、引きバネを伸長させることで弾性エネルギーを蓄積させ、特定の位置で保持を解除しバネの収縮力を瞬時に跳躍力へと変換する機構配置の考案・シミュレーションを実施した。ハードウェアの設計では、引きバネの強力な収縮力に耐えうる機体強度を確保しつつ、重量バランスを考慮したパーツ配置の精査・最適化を行う手法をとった。

3.4 脳波班

課題 1, 色刺激提示下で脳波を測定し、信号処理および特徴量抽出を行った。得られた特徴量を用いて機械学習モデルを構築し、視覚刺激と脳波の関係を判別タスクを通して検証した。また課題 2, 画像を入力として人工的に脳波を生成するモデルを構築した。生成脳波と実測脳波との一致度を、波形形状や周波数特性に基づく定量的評価および可視化による定性的評価の両面から検証した。

4 課題解決の過程と結果

4.1 ゆずりあい班

シミュレーションにおいて、ゆずりあいを実現することに成功した。次に、学習したモデルを 2 台の実機を用いて再現した。再現するために ArUco マーカーによる位置推定や 2 台の実機の同期制御を行った。図 1 および図 2 は、実機による再現の様子である。図 1 は、カメラ画像から検出した ArUco マーカーに基づき、実機や環境の相対位置を推定した状態である。図 2 では、この推定結果に対して、真上から俯瞰したような座標系へと変換している。最終的に、実機においてもシミュレーション同様の動作が確認された。

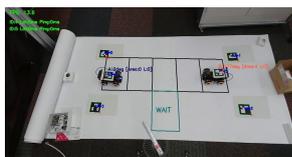


図 1: 位置推定の結果



図 2: 変換後の俯瞰視点

4.2 自動運転班

標識認識とレーン認識を行うために YOLO を用いた機械学習を行った。また、Raspberry Pi 5 でモデルを扱うためには、モデルが重すぎたため、知識蒸留による軽量化を行った。結果として、Raspberry Pi 5 で扱うことのできる高精度かつ軽量のモデルを作成することができた。LiDAR では、設定した範囲内の物体を検知し、グラフに点をプロットすることができた。QR コードについては、Raspberry Pi 5

を使って QR コードから数字を情報として取得することができた。

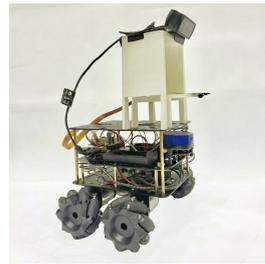


図 3: 作成した車体 (左)

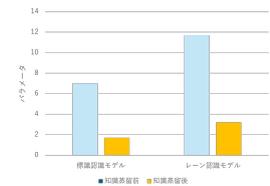


図 4: 知識蒸留前後における各モデルのパラメータ数比較 (右)

4.3 生物模倣班

本班の遂行過程において、第 1 号機では間欠歯車の噛み合わせ不全により押しバネを圧縮できず跳躍に至らなかった。第 1 号機の製作過程により、機体の設計を左右対称にすることを最初の変更点として行い、第 1 号機の自立性の問題を改善した。また、機構の間欠歯車から遊星歯車を用いたワイヤー巻取機構へ変更した結果、単発の跳躍動作の実現には成功した。しかし、当初の目標であった連続跳躍には至らなかった。

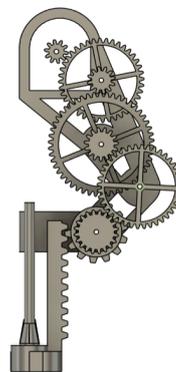


図 5: 第 1 号機の機構 (左)

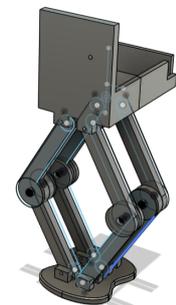


図 6: 第 2 号機の機構 (右)

また、第 2 号機での跳躍実験を行った (図 7)。目標では垂直跳躍で 10cm を設定していたが、約 20cm の跳躍に成功した。この結果は、予想していた機体の重量より軽量に設計ができたこと、高トルクのモーターでエネルギー損失を低くすることができたためだと考えられる。

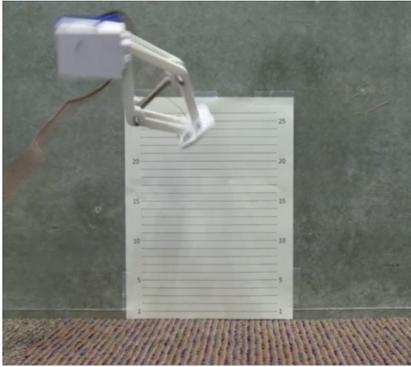


図 7: 跳躍実験の様子

4.4 脳波班

課題 1 ではランダムフォレストを用いて色の識別を行った。赤と青の識別を 87% で可能なことが分かった。この判別の寄与率を見ると γ 波が有意であり視覚刺激に反応する周波数帯であるため妥当であると考えられる。課題 2 では図 8 に示すように、実際の脳波とは異なる脳波が生成された。このことから、人工脳波には入力画像に対応する情報が一定程度含まれているものの、入力を一意に識別するには不十分である可能性が考えられる。

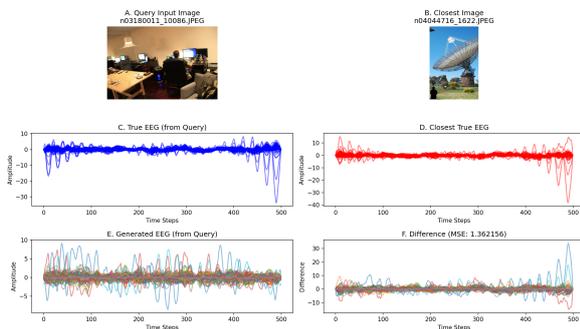


図 8: A: 入力画像, B: 予測された画像, C: 入力画像の脳波, D: 人工脳波に近い脳波, E: 人工脳波, F: D と E の誤差

5 今後の課題

5.1 ゆずりあい班

シミュレーションと実機では、環境をマス目状で表現した離散空間において行った。これによりゆずりあいには成功したが、実用化の観点からは、より現実に近いゆずりあいと環境が考えられる。今後の展望として、まずシミュレーションを、連続空間へと拡張する必要がある。そのため、限られた状態数しか扱えない Q テーブル方式から、連続値を処理可能な強化学習アルゴリズムへの移行が求められる。これにより、現実世界のような滑らかな走行の実現を目指す。

5.2 自動運転班

作成した機能を全て車体に統合し、走行することができていない。今後の課題として、作成した機能を並行して処理すること、学習モデルの高精度化があげられる。また、Raspberry Pi 5 よりも高性能なハードウェアを導入することで、リアルタイム性を高めることができる。

5.3 生物模倣班

今後の課題として、連続的な跳躍を可能にすることが挙げられる。現状、単発の動作を反復すること自体は可能だが、跳躍・着地時の姿勢の乱れが連続的な動作を阻害している。今後は機体の安定性を高め、着地後に即座に次動作へと繋がる元の姿勢（初期姿勢）へと復帰できる制御機構の検討が必要である。

5.4 脳波班

課題 1 および課題 2 の双方において、データ数や種類の少なさが問題点として挙げられる。特に、事前準備の段階で多くの課題に直面し、データ取得に十分な時間を確保できなかった。今後は本研究で構築した研究の流れで進め、データ数や種類を増やすことで、新たな結果や信憑性の高い結果を得ることを課題とする。