


物理エンコーダの同時最適化による物体認識モデルと病理診断実証

	研究代表者	大阪大学・データビリティフロンティア機構・教授	
		長原 一（ながはら はじめ）	研究者番号:80362648
	研究課題情報	課題番号：23H05490	研究期間：2023年度～2027年度
		キーワード：コンピュータショナルフォトグラフィ、機械学習、マルチモーダル、病理診断	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

従来の深層学習による物体認識モデルの最適化は、あくまでRGBデジタル画像を撮影した後のデジタル層のみを対象としていた。光は電磁波であり、振幅や波長、位相、偏光、時間など複数のモダリティ情報を持つが、通常のカメラは人の視覚特性を前提としたRGB画像を計測するため、光モダリティの断片しか計測できない。このような多元光モダリティを図1 aのように事前にデジタル画像として撮影し、認識のための特徴をデジタルエンコーダで学習することも考えられるが、その計測時間やそのデータ量の問題から実現は不可能であろう。本研究では、光源制御や画像計測といった物理エンコーダをデジタル層のモデルと同時最適化する深層物理センシングのフレームワークを提案する。深層物理センシングでは、図1 bのようにエンコーダの一部を物理エンコーダで置き換え、学習により最適化することで単一の符号化画像による高精度の認識を実現する。従来の深層学習が単なる画像認識であるのに対して、計測モダリティを学習により求める本質的な物体認識を実現する。応用ユースケースとして病理診断を対象として本フレームワークが実応用において有効であることを示す。

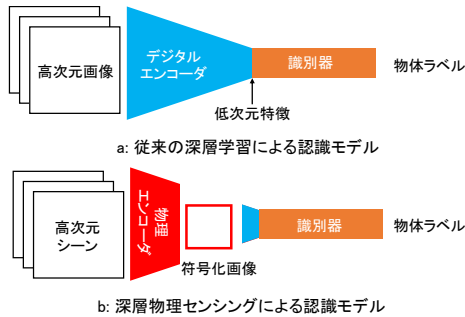


図1 従来と提案する深層物理センシングの比較

●光の多元性と物理エンコーダ

本質的な物体認識はシーンに存在する物体そのものを識別するのが目的であるが、これまでのRGB画像を用いた物体認識は単に画像としての見た目を認識しているのにすぎない。すなわち、デジタル画像化した時点で失った情報は認識には使われず、これが認識性能を制限してきた。図2に示すように光は電磁波であり、振幅や波長、位相、偏光、時間など複数のモダリティ情報を持つ。これらの光モダリティは物体と相互作用をし、物体の反射率や透過率、対象の厚みや屈折など様々な対象の物理情報を含んでいる。事実、バイオイメージング研究分野においては、蛍光などの特定の波長や干渉、偏光などを用いた観測が行われており、研究目的に応じて様々な光モダリティが活用されてきた。しかしながら、例えば本研究が対象とする病理診断タスクにおいて、どのモダリティやその組み合わせが認識性能の向上をもたらすかは自明ではない。また、全モダリティを計測するためには、図4に示すようにモダリティ毎にパラメータを変えながらのスクリーンで得られる大量の画像データ取得が必要となる。深層学習を用いた従来の認識モデルは、図1aに示すようにカラー画像や動画などの高次元の生画像をデジタルエンコーダで特徴抽出し、低次元化された特徴ベクトルを元に識別器によりラベル推定

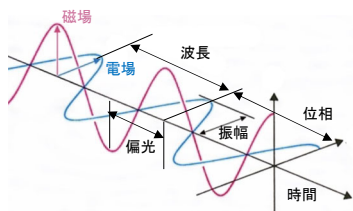


図2 光の多元性

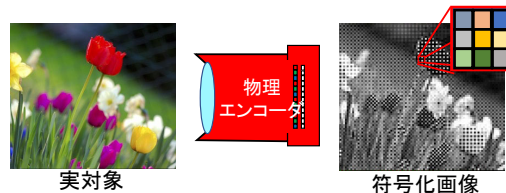


図3 物理エンコーダ

を行なっている。高次元のモダリティをデジタル画像としてすべて計測するには、次元に対して指数的なスキャン時間やデータ量を必要とする。また、それらの画像を直接ニューラルネットワークの入力とするには、膨大な入力層を持つ巨大なネットワークを学習することになり、メモリや学習時間から実現が困難である。本研究では、図3に示すように撮像ハードウェアを物理エンコーダとみなして、撮影画像のみに埋め込むモダリティの組み合わせを学習により求める。この物理エンコーダの最適化で得られる低次元の符号化画像を撮影し、デジタル層のモデルの入力とすることで、限られた撮像データから高精度の物体認識を実現する。

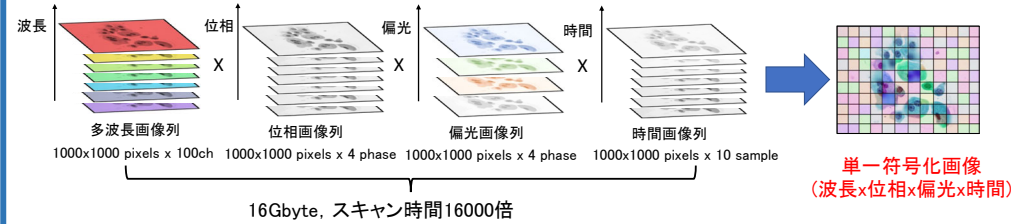


図4 多元光モダリティのスキャンと提案する符号化画像

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●深層物理センシングの提案(学術的意義)

物理エンコーダを学習で求め、認識に必要なモダリティ特徴を撮像過程で取捨選択する。この物理エンコーダで得られる低次元の符号化画像を撮影し、デジタル層のモデルの入力とすることで、限られた撮像データから高精度の物体認識を実現する。このコンセプト「深層物理センシング」を新たな研究手法として提案する。

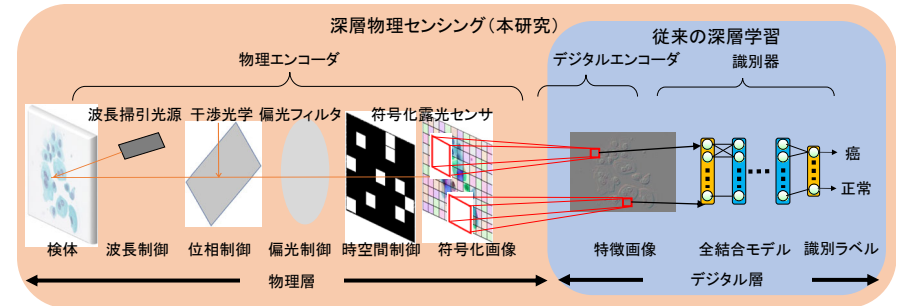


図5 深層物理センシング

●病理自動診断での有効性の検証(社会的意義)

尿細胞診による癌自動診断を深層物理センシングの応用ユースケースとして認識性能向上の実証を行う。これまで病理診断は病理医による目視により行われてきた。それが現在、病理医が見ているRGB画像を用いた機械学習器による自動診断が実現しつつある。しかしながら、このようなRGB画像を用いた自動診断はあくまで病理医の視覚診断を真似た機械学習であるため、機械にとって人の模倣が必ずしも最適であるとは限らない。本研究の学術的な問いは、「画像認識から本質的な物体認識への転換と物体認識のために人真似ではなく機械自体が何を見るべきかを定める」ということを検証する。

●多元光符号化顕微鏡の開発(物理エンコーダの実装)

光の波長、干渉、偏光、時間を自由に制御でき多元光符号化顕微鏡(図6)を構築する。試作したこの顕微鏡を用いて符号化画像の学習や撮影に用いて病理応用での実証を行う。

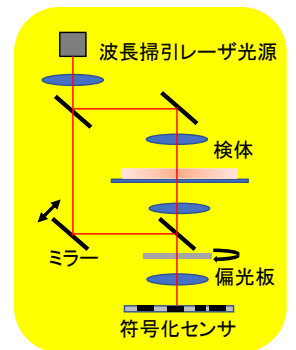


図6 多元符号化顕微鏡