

合成画像を用いた機械学習による電子部品識別精度に関する研究 A study on the Accuracy of Electronic Component Recognition by Machine Learning Using Synthesized Images

太田 匠海[†] 鈴木 順[‡] 森島 佑[†] 志子田 有光[†]
Takumi Ohta Jun Suzuki Yu Morishima Arimitsu Shikoda

1. 研究背景と目的

教育現場や開発現場における電子回路の構築では、ブレッドボードなど、回路の試作が可能な基板上に電子部品を配置し、結線する手法が多く用いられている。ブレッドボードは端子孔に部品や配線接続することが容易である一方、その特殊な構造から、回路の複雑度が増すにつれて、誤りの検出を行うことが難しい。また、遠隔指導などにおいてはカメラ越しに回路構築状況の確認・指導を行うことは一般に困難である。そこで、本研究ではブレッドボード上に構築された電子回路の画像から、部品や配線の接続関係を識別するシステムの開発を前提に、その基礎技術を開発することを目的としている。このようなシステムを開発する場合には大きく分けて、1) 部品や配線の種別の識別、2) 各電子部品、配線等の端子位置特定、の 2 つのステップを経る必要がある。定形の部品を、その形状等の特徴から識別することは比較的容易であり、一般に機械学習などを用いた物体検出技術を応用することが考えられる。一方で、配線などのような湾曲し、形状が自在に変化する部品については、その端子位置と、両端の接続関係を推定することが難しくなる。ここで、電線を除く電子部品の教師データの準備については、これらが明確な規格を持った工業製品であることから、アノテーションデータを含んだ合成画像による事前学習データの量産も可能である。本研究においても、これまでアノテーションデータを含む電子部品の合成画像生成の試みについて報告をしてきた[1]。

しかし、電線などのような不定形の物体については、始点と終点が独立に検出されたとしても、複雑に絡み合った複数の配線がある場合、その接続関係を正しく判定することは難しい。一般に、これらの線状(ひも状)の物体の形状認識技術については、いくつか先行研究の報告があるが、これらは明らかな色情報に基づくものが多く、物体の形状そのものをトレースしているわけではない。そこで本研究では、SSD (Single Shot Multi Box Detector) [2]によって、配線の末端を特定したのちに、配線に沿ってトレースする機械学習を行うためのアノテーションデータを含む合成画像の生成法について研究を進めてきた。

本稿では、物体識別技術に基づき電氣的接続関係を特定することにより電子回路の配線正誤判定を行うための機械学習システムを想定し、その推定精度を向上させる二つの試みについて報告する。

2. SSD による電子デバイス検出

電子回路基板上の電子デバイスや配線を、その画像から物体検出技術によって特定するためには、大量の機械学習

用の画像データとその画像それぞれに対応したアノテーションデータが必要である。画像データとアノテーションデータを併せた学習用データの作成は、対象が実物の撮影画像である場合、一般に非常に手間のかかるプロセスである。そこで、本研究では事前学習用に合成画像を用いることを検討した[3]。そのデータセットの作成には 3D-CG 制作ソフトである Blender を使用した。Blender は Python によるスクリプトから 3D オブジェクトの生成や操作が可能であり、実物の撮影画像に近い画像を生成可能である。ここでは、ブレッドボード基板上に複数本のワイヤがランダムに接続されている状態の合成画像と、画像それぞれに対応するアノテーションデータを生成した。

Blender によって生成したブレッドボード基板の画像イメージに、アノテーションデータに記録されている端子孔の座標情報を重ねたものを図 1 に示す。

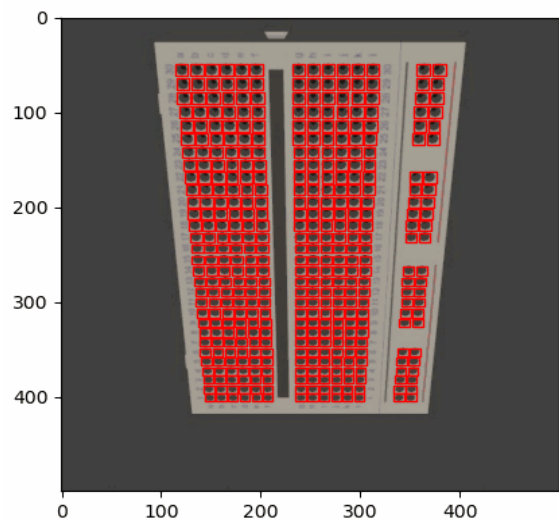


図 1 画像データに正解座標情報を配置した様子

図 1 は、背景なし(黒色)においてブレッドボード基板の 3D モデルを斜めから見た画像に対し、基板上の各端子孔を正解バウンディングボックスが取り囲んでいる様子を示したものである。

また、SSD は初期プロセスにおいて、画像の縮小が行われるため、相対的に小さな物体ほど検出することは難しい。そこで、小さな物体を相対的に拡大するために、画像を分割して入力する手法を検討した。図 2 に、電子基板上に電線をランダムに配置した合成画像を生成し、元の合成画像に対し 5×5 の 25 分割処理を行った後に、電線の両端につ

[†] 東北学院大学工学部 Tohoku Gakuin Univ. Dept. of Eng.

[‡] 仙台高等専門学校 National Institute of Technology, Sendai College

いて、SSD300 による物体検出を行った結果を示す。この処理により、SSD300 による実質的な分解能を向上させることが可能となった。

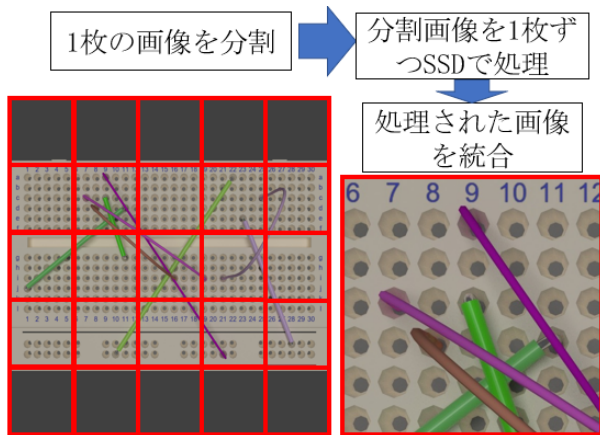


図 2 画像分割による処理の様子

3. 検出した端点間の関連付け

これまで、SSD を用いて合成画像からブレッドボード基板上に配線されたワイヤの端点の識別を行ってきた。次に、端点どうしの接続関係を推定する方法について検討したので報告する。

本稿では、検出した端点間の関連付け手法として、DQN(Deep Q Network)を用いた仮想ライントレースロボット(エージェント)を提案する。SSD から検出した画像中の端点の位置座標を基に、ある一方の端点の位置座標を始点とし、もう一方の端点を終点としたライントレースを行いその軌跡から端点間の関連付けを行うことを目的としている。配線の形状トレースに使用した画像データは SSD で使用したものと同様、Blender によって作成した。使用した画像データは 500×500 pixel とし、今回は初歩的なモデルとして、単色の背景の上に一本の線状物体を配置した 3D オブジェクトの画像を生成した。また、画像データと別に画像上の線状物体の中心に沿った進むべき「報酬を配置した pixel」(以下報酬 pixel と略す)の座標情報を格納した csv ファイルも作成した。

今回実装したエージェントは、現時点の座標を中心と ± 20 pixel の 41×41 の範囲の正方形領域を切り取りニューラルネットワークによる畳み込み処理を行うことで、次に進むべき方向の隣接する周囲 8 pixel の内どれかを選択し進行する。進行の際、エージェントは csv ファイルからの座標情報を参照し、移動先が報酬 pixel だった場合に報酬を獲得する。エージェントは始点から終点到達までにより多くの報酬の獲得を目指す。またライントレースに際し SSD による端点検出が可能ということから、始点と終点は既知であることとした。エージェントは画像の範囲外、又はゴールに辿り着くか、報酬 pixel 以外を 100 回通ると、1 エピソードの終了とし、計 1000 エピソードを通して学習を行う。今回は線状物体が縦一直線の場合と斜め 45 度の場合、約 70 度の場合の 3 パターンに分けてライントレースを行った。図 3 に、ブレッドボード上の直線ワイヤに見立てた 70 度に傾けた線状物体の画像とその報酬 pixel 座標群配置の様子を示す。

その結果、報酬 pixel の座標が一定方向に規則正しく配置されている縦方向の場合と 45 度の場合、1000 エピソード中、徐々に強化学習が進み最終的には 30 回程度の終点への到達を確認した、70 度でライントレースを行った際には 1000 エピソードでは強化学習が不十分であったためか、終点への到達は確認できず、路程の途中までのトレースとなった。

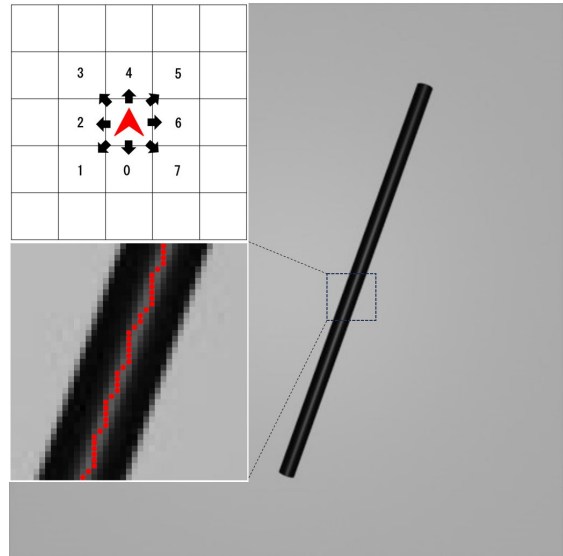


図 3 合成画像と報酬 pixel の関係

4. まとめ

本稿では分割 SSD による画像上の端点の識別と、画像上に一本のワイヤが配置されている単純化された 3D モデルの直上撮影画像に対し、ワイヤの両端の位置が検出されているという前提において、機械学習手法を用いた簡単なエージェントを実装し、画像上に配置されたワイヤの形状トレースについて、その方法とシミュレーションを検討した。その結果、エージェントはある一定方向に規則正しく報酬 pixel 群が配置されているという条件下において、本手法によってワイヤのトレースを行うことが可能であることが確認された。一方で、今回実装したエージェントが様々な角度に対するトレースを可能とするため、トレース手法の変更等、更なる改善が必要であると考えられる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K02979 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 太田匠海, 他, 物体検出技術による電子回路教材の配線パターン推定に関する研究, 令和 4 年東北地区若手研究者発表会, YS-20-E10.
- [2] Liu, Wei, et al., "SSD: Single shot multibox detectorm, " in Proc. European conference on computer vision, pp.21-37, 2016.
- [3] 太田匠海, 他, 画像解析技術によるブレッドボード上の電子回路配線パターン推定に関する研究, 令和 5 年電気学会全国大会, pp. 3-105, 2023.