

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 Research on estimation of electronic circuit wiring patterns on breadboards using image analysis techniques

太田 匠海* 鈴木 順** 森島 佑* Andreia Patrícia Urbano Custódio Rocha*** 志子田 有光*
Takumi Ohta Jun Suzuki Yu Morishima Andreia Patrícia Urbano Custódio Rocha Arimitsu Shikoda

1. 研究背景と概要

ブレッドボードは教育や製品試作における回路作製の場で広く用いられているが、回路構築の正誤判定を行うためには一定の経験を積む必要がある。また遠隔授業などにおける回路製作において、ソフトウェア上の仮想的な学習ツールが報告されており、これらの有効性も認められている[1]。一方、ブレッドボードなどを用いて実際の回路構築を学ぶ際に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、本研究では配線されたブレッドボードの画像から、配線や部品の接続関係を自動判定するシステムの開発を試みる。このようなシステムを構築する場合、一般に Deep Learning 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が、教師データ有りにおいてネットワークの生成を行う場合は、大量の学習データが必要となる。しかし、このための画像データ(jpeg ファイル等) やアノテーションデータ(xml ファイル等) を実際の撮影画像から準備することは大変な作業量となる。そこで、十分な学習データを確保することが難しいブレッドボード上の回路画像については、Blender を用いて CG データを生成し、これを用い SSD(Single Shot MultiBox Detector)[2]に学習させることとした。最終的にはこれによって生成したネットワークに対し実画像を用いた転移学習を行わせることを想定しているが、今回の報告ではここには言及しない。

これを含め、システムにおいて想定される処理は大きく分けて3つのステップを経由する。Step1ではBlenderによる教師データ(画像データとアノテーションデータ)の生成を行う。Step2では、SSDによって配線や部品が接続された端子位置を特定する。Step3では、この配線または端子の接続関係を判別することである。

以下2節において、Step1及びStep2について概要を説明し、今回の報告の軸となるStep3の処理について3節で詳述する。

2. Step1&2:データ生成と接続端子の推定

機械学習を用いた物体検出では、学習の際に大量の画像データとその答えとなる画像データ中のワイヤの端点の座標やその検出対象の種類のラベル情報が記録されたアノテーションデータが必要となる。本研究では、この学習用データセットの作成に、3D-CG 製作ソフトであるBlenderを使用した。BlenderはPythonによるスクリプトから3Dオブジェクトを生成、操作することが可能となっている。本研究では、3Dオブジェクトをランダムに生成

し、その画像データに対応するアノテーションデータも同時に生成することでデータセットを作製した[4]。

図1に、Blenderによって生成した配線パターンの画像イメージ(500×500pixel)と、これに対するSSDを用いた端点検出結果の例を示す。実際のブレッドボードを撮影した画像と比較するとリアリティに乏しいことは否めないが、この点を改善させることは充分可能であろうと思われる。図1では、ブレッドボード上に5本のワイヤが

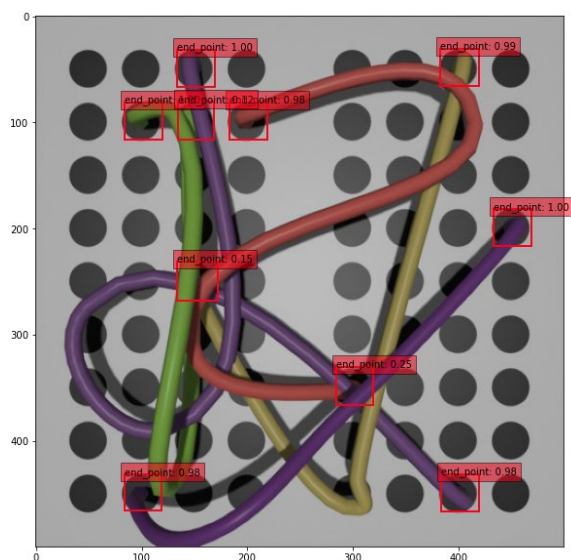


図1 配線パターンの合成画像と端子検出結果の例

ランダムに接続されているが、SSDによって、比較的高い精度で配線の両端の位置を特定している様子が確認できる。真上から撮影した画像を用いることを前提とするならば、この結果から、配線の両端点の座標を特定することも可能であると考えられる。例えばこの画像において検出された10点の端点の配線の接続関係を判定するためには、配線に沿って同一配線の一端から他端までをトレースする必要がある。配線が複雑に折り重なっていることもあり、このようなトレースは一般に難しい処理が要求される。そこで、次に解析画像の配線パターンを単純化したうえで、特定の探索領域の画素群に対するヒストグラムの類似性比較を用いた仮想ラインロボットのイメージし、端子の接続関係推定の可能性について検討した結果を次節で述べる。

3. Step3:両端点座標間の関連付け

ここまで、物体検出SSDを用いて、ブレッドボード基板上に接続されたワイヤの端点の識別を行ってきた。しかし、このままでは検出した端点とその位置座標がそれぞれ独立してあるのみで、回路基板上の接続関係を特定

*東北学院大学 Tohoku Gakuin Univ.

**仙台高等専門学校 National Institute of Technology, Sendai College

*** Turku University of Applied Sciences

したとは言えない。そこで、SSD によって特定した画像中の端点の位置座標を基に、端点どうしの関連付けを行う方法について検討する。本稿では、この検出した端点どうしの関連付け手法として、画像中の特定領域内の RGB の輝度分布を表すヒストグラムを抽出しながら進行する仮想ライントレースロボットを実装することで、端点どうしの接続関係と部品の形状特定を行ったので報告する。画像上のワイヤなどの曲線を描くような線状物体の検出はライントレース技術に限らず検討されており、関連研究の例として、Deep Learning 技術を用いた縫合糸の検出[3]が提案されている。しかし、この手法は高い識別率を記録している一方で、学習や推論を実施する際に、検出対象である縫合糸に一定間隔でマーカーを付けることで検出精度を向上させている。これに対し本研究では、作製した 3D オブジェクトであるブレッドボード基板上のワイヤを模したマーカーなしでの線状物体においても形状を正確にトレース、検出ができるような手法を検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では SSD により特定した端点のそれぞれの位置座標を基に仮想ライントレースロボットを実装し、ある端点の位置座標を始点として、もう一方の端点を終点としたときの端点間の関連付けとその配線の形状トレースを行う。今回配線の形状トレースに使用した画像データは SSD で使用したときと同様に、Blender からブレッドボード上に 1 本の配線が接続されている様子を模した 3D オブジェクトをランダムに生成し、500×500pixel の画像とすることで作成した。始点と終点の座標は既知であるとする。仮想ライントレースロボットに対し、まず現地地点の座標を中心に±5pixel の範囲の正方形領域を取り、範囲内を Python と OpenCV を用いて RGB ごとのヒストグラムを作成し保持する。その後、仮想ライントレースロボットは最初の進行方向を決めるため、現地地点の周囲 15 度刻み 24 方向において、現地地点から離れる方向に 5pixel、10pixel、20pixel の間隔で 3 地点、周囲合計 72 地点を中心とした各±5pixel の範囲のヒストグラムを取得する。次に、現地地点と各方向の各 3 点との相関値をそれぞれ算出し、最後にその合計値を計算する。そのうえで 24 方向から最も値の大きな方向を採用し、その方向に現地地点から 20pixel 離れた位置へ移動する。停止条件は仮想ライントレースロボットの位置が終点の領域内に入るか、指定の処理回数に到達することとした。この処理は、前述説明の処理の探索範囲が 360 度から 180 度の 12 方向に狭められることに加えて、10pixel、20pixel それぞれ 12 地点に対する始点のヒストグラムの相関を取り、それぞれ要素ごとに和をとる処理を行っている。ここでは、実装した仮想ライントレースロボットの精度を計るため、1 本のワイヤが接続されている画像データ 100 枚を用意し、トレースを行った。1 枚の画像データあたり始点と終点を入れ替えてトレースし、どちらか一方でも終点領域に到達すればその画像におけるトレースを True とし、True の数/枚数として識別率を算出した。その結果識別率は 83% という結果となった。しかし、この結果の中には実際には一度ワイヤのトレース線路から脱線し、最終的に偶然終了条件となる領域に入り True と判定されたケースや、配線の影をトレースしたケースも存在し、現段階の実際の識別率はこれよりも低くなると予想される。また、今後実際のブレッドボード配線のトレースや部品の多様化を視

野に入れると、ヒストグラムによる手法だけでなく、機械学習等を用いた手法の提案や、改良が必要であることが考えられる。実装した仮想ライントレースロボットを走らせた結果とその過程を図 2 に示す。図 2 は用意した 100 枚の画像のうち 1 枚をトレースした際の様子をまとめたものである。図では 1 本の配線に対し 2 個の配線の端点がある中で、左上の端点を始点(図 2 左上の画像)とし図 2 右上、左下の画像のように仮想ライントレースロボットを動かす、その軌跡を基に端点どうしの関連付けを行っている。図 2 右下のトレース結果の画像から正確に画像中の配線路をトレースできていることが確認できる。

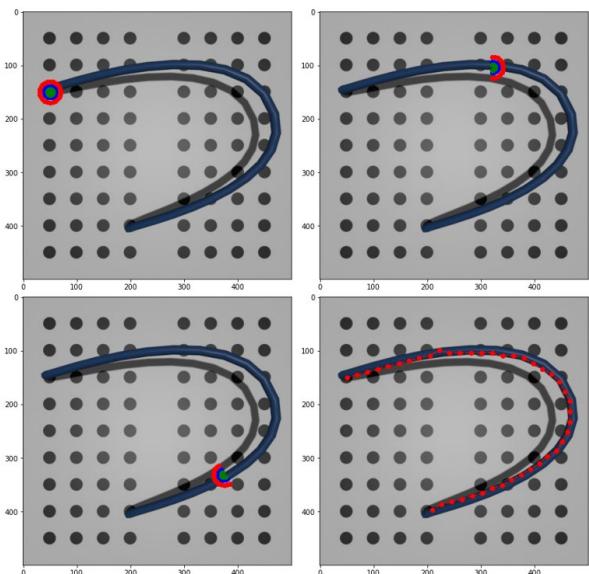


図 2 配線トレース実行結果と過程の例

4. まとめ

本研究では、配線されたブレッドボードに模した直上撮影画像に対して、その両端の位置が検出されているという前提において、画素のヒストグラムの類似性を基に、単純な仮想ライントレースロボットを用いてその配線の接続状態を判定する可能性についてシミュレーションと検討を行った。その結果、一定の条件の下では本手法によって、配線パターンの推定を行うことが可能であると結論づけられたが、画像のリアリティの向上や、配線上のトレース方法の精度向上について更なる検討が必要であることが確認された。

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] Francisco M. Campos, "Electronics Education during the COVID-19 pandemic: the use of a CAD framework in distance learning assignments," in Proc. CISPEE 2021, pp. 1-7, 2021.
- [2] Liu, Wei, et al., "SSD: Single shot multibox detector," in Proc. European conference on computer vision, pp.21-37, 2016.
- [3] Yang Hu, et al., "Multi-stage Suture Detection for Robot Assisted Anastomosis based on Deep Learning," in Proc. ICRA, pp.4826-4833, 2018.
- [4] 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