

エッジコンピューティングを用いた生産ラインへの AI 組み込みに関する研究

高橋慶行・町田晃平*

Embedding AI in production line using edge computers

TAKAHASHI Yoshiyuki, MACHIDA Kohei

AI 外観検査導入における装置の低コスト化と処理安定化のため、エッジコンピュータとオープンソース AI を活用した AI 外観検査を提案する。本研究では、エッジコンピュータとして NVIDIA Jetson シリーズ、オープンソース AI として YOLO v3 を用いた AI 外観検査装置を試作開発した。Jetson Nano と Jetson Xavier NX の推論速度の比較を行い、512×512 の画像において、それぞれ 1.28 秒と 0.33 秒の結果を得た。今後は、本技術を県内中小企業の生産ラインへ展開する。

キーワード：エッジコンピューティング、深層学習、外観検査

We propose AI visual inspection using edge computers and open source AI in order to reduce the cost of system and stabilize processing when introducing AI visual inspection. In this work we developed a prototype of AI visual inspection system using NVIDIA Jetson series as an edge computer and YOLO v3 as an open source AI. We obtained inference speeds of 1.28 sec and 0.33 sec on Jetson Nano and Jetson Xavier NX respectively for 512×512 images. We will apply this technique to the production lines of small and medium-sized enterprises within this prefecture.

Keywords : Edge Computing, Deep Learning, Visual Inspection

1 まえがき

群馬産業技術センターでは、製造業における外観検査の効率化や高精度化のため、AI（ディープラーニング）外観検査の導入を進めてきた。

AI 外観検査には、AI 推論速度を高速化するため、ハードウェアとして GPU (Graphics Processing Unit) が必要となる。これまでは、AI 外観検査装置の処理部に、GPU を搭載したデスクトップ PC を使用してきた。しかし、GPU 搭載 PC を使用すると、装置のコストが高くなる、広い設置スペースが必要となる、連続処理が不安定になる、などの問題が発生する。一方、近年はネットワーク端点での処理が可能なエッジコンピュータが登場してきた。エッジコンピュータの中には、AI 推論処

理が可能となるように GPU を搭載したのものも存在する。エッジコンピュータの特徴として、コストが低い、筐体が小さい、安定した高速連続処理が可能、といったことが挙げられる。

また、AI 外観検査のソフトウェアとしては、市販の AI 画像解析ソフトウェアを使用してきた。市販のソフトウェアは、操作性や性能の面で AI 初学者でも使いやすいが、初期導入コストが非常に高く、維持費がかかるものもあり、コストの面で AI 外観検査導入を妨げる大きな要因となっていた。一方、目的を問わず無償でソースコードを利用可能なオープンソースの AI ソフトウェア（ライブラリ）が多数公開されている。これらのオープンソース AI を活用することで、AI 外観検査のコストを大きく下げることができる期待される。

そこで本研究では、AI 外観検査の低コスト化と処理安定化のため、エッジコンピュータとオープンソース AI を活用した AI 外観検査装置の

開発を行う。また、各エッジコンピュータの処理速度を比較し、性能差を明らかにする。

2 方法

2.1 エッジコンピュータ

本研究では、エッジコンピュータとして NVIDIA 社製 Jetson シリーズを使用した。Jetson は、組み込み AI システム向けのシングルボードコンピュータである (図 1)。AI 処理を高速に行うために GPU を搭載し、他にも CPU や PMIC、DRAM、フラッシュストレージなどを備えている。現在、Jetson シリーズには 4 つの機種が存在する。本研究では、低コストの 2 機種である Jetson Nano と Jetson Xavier NX を使用した。

Jetson の開発には、JetPack SDK を使用した。JetPack SDK は、NVIDIA 社が提供している Jetson 用の開発キットである。ディープラーニングや画像処理のライブラリ、AI 処理を高速化するための環境などが含まれている。JetPack SDK で提供される OS は、Linux ベースの OS である。JetPack SDK は、Jetson で使用する SD カードに書き込むことで使用できる。本研究で用いた JetPack は、JetPack 4.4 である。

Jetson 内部のプログラムは、Python を用いて開発した。Python は JetPack にあらかじめインストールされている。



図 1 NVIDIA Jetson

2.2 I/O 制御

Jetson の汎用入出力 GPIO (General

Purpose Input/Output) を用いた I/O の動作確認を行った。GPIO はデジタル信号の入出力を行うためのピンである。AI 外観検査装置においては、撮像トリガ信号の入力や AI 判定結果信号の出力、PLC との連携などに使用される。

Jetson では、NVIDIA 社より提供されている Jetson GPIO ライブラリパッケージをインストールすることにより、Python から GPIO の 40 ピンヘッダを制御することが可能となる。

本研究では、ブレッドボードを用いた回路と GPIO を接続し、GPIO の動作確認を行った (図 2)。本実験では、回路のスイッチが押されると GPIO に信号が入力され、その信号をトリガとして Jetson 内部のプログラムが GPIO から信号を出力し、LED を点灯できることを確認した。

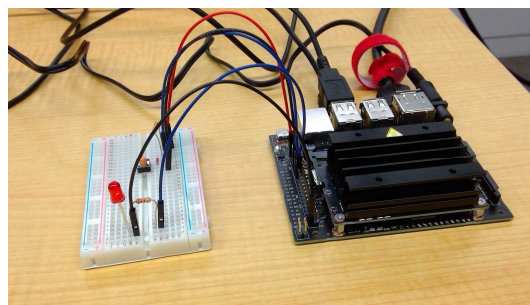


図 2 I/O の動作確認

2.3 産業用カメラ制御

Jetson による産業用カメラの動作確認を行った。産業用カメラには、IDS 社製の 5 メガピクセル USB 3 カメラ UI-3280CP-C-HQ Rev.2 を使用した (図 3)。IDS 社製の産業用カメラを Jetson から制御するには、IDS 社が提供しているソフトウェアパッケージ IDS Software Suite を Jetson にインストールする必要がある。

また、IDS 社より提供されている Python 用ラッパの PyuEye モジュールをインストールすることにより、Python から IDS 社製の産業用カメラを制御することが可能となる。さらに、オープンソースの画像処理ライブラリである OpenCV-Python を組み合わせることで、カメラの映像を画像ファイルとして保存することが可能となる。

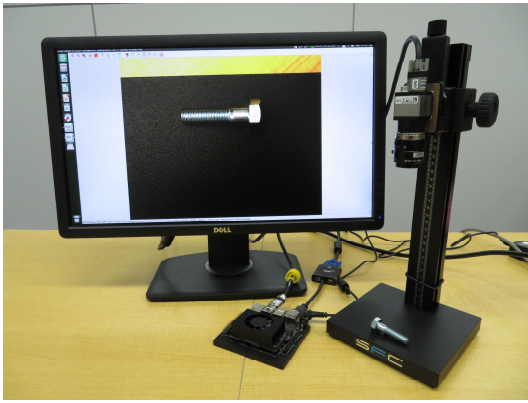


図3 産業用カメラの動作確認

2. 4 オープンソース AI

オープンソース AI には YOLO¹⁾ を用いた。YOLO はオープンソースで開発された物体検出アルゴリズムである。YOLO に画像を入力すると、YOLO は検出した物体の矩形領域とその物体の種別（クラス）を出力する（図4）。YOLO は、画像とそれに対応する物体の領域とクラスを記述したアノテーションデータを用意すれば、独自のデータセットにて学習が可能である。

YOLO は現在までに複数の改良版が発表されている。本研究では YOLO v3²⁾ を使用した。

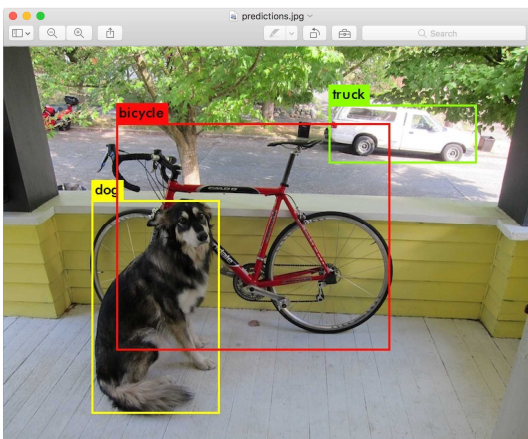


図4 YOLO の検出の様子（引用：
<https://pjreddie.com/darknet/yolo/>）

2. 5 AI 推論速度の比較

NVIDIA Jetson Nano および NVIDIA Jetson Xavier NX にて、YOLO v3 の推論速度の比較評価を行った。

評価用のデータセットには、MVTec AD

³⁾ を用いた。MVTec AD は工業製品の画像検査向けに作られた異常検知データセットである。15 カテゴリの工業製品からなり、それぞれに良品画像と複数モードの欠陥画像、さらに欠陥領域を図示したアノテーション画像を収録している。本来、MVTec AD は教師なし学習の異常検知を目的としたデータセットであるが、本研究では教師あり学習の YOLO v3 にて使用した。

本研究では、MVTec AD に収録されているカテゴリのうち Screw のデータを使用した。画像は、元サイズである 1024×1024 から 512×512 にリサイズして使用した。Screw のデータには、5 種類の欠陥モード（manipulated front、scratch head、scratch neck、thread side、thread top）が含まれている。本研究では、5 種類の欠陥画像と良品画像につき、それぞれ 15 枚ずつの計 90 枚の画像を学習に使用した。教師画像は、Microsoft 社が提供するオープンソースのアノテーションソフトウェア VoTT を使用して、人手でアノテーションを行った（図5）。

推論速度は、480 枚（良品画像 361 枚、欠陥画像 119 枚）の画像を YOLO v3 で推論した際の各画像の推論時間の平均により算出した。

本実験において、Jetson Nano と Jetson Xavier NX の Power Mode は、それぞれ MAXN と 15W 6CORE とした。また、それぞれ CLI（Command Line Interface）モードにて推論を行った。さらに、参考としてデスクトップ PC（ドスパラ社製 GALLERIA ZZ-SLI、CPU：Intel Core i7-7700K、CPU：NVIDIA GeForce GTX 1080Ti、RAM：32 GB）でも推論速度を算出した。

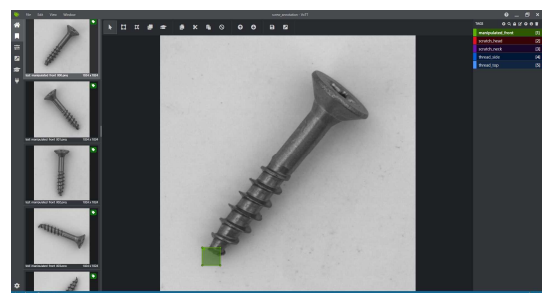


図5 欠陥領域のアノテーション

表 1 AI 推論速度

	Jetson Nano	Jetson Xavier NX	デスクトップ PC
推論速度	1.28 sec	0.33 sec	0.04 sec
CPU	ARM A57	ARM v8.2	Intel Core i7
GPU	Maxwell 128 コア	NVIDIA Volta 384 コア Tensor コア 48 基	NVIDIA GeForce GTX 1080Ti
RAM	4 GB	8 GB	32 GB

3 結果

試作開発した AI 外観検査装置を図 6 に示す。本 AI 外観検査装置は、対象ワークをベルトコンベアに載せて撮像位置まで移動させる。その後、産業用カメラにてワークの撮影を行い、Jetson にて YOLO v3 の推論を行う。モニタには、YOLO v3 の検出結果と OK/NG の判定結果が表示される。判定結果は、YOLO v3 にて欠陥領域が検出されれば NG、検出されなければ OK とした。

各エッジコンピュータにおける YOLO v3 の推論速度の比較結果を表 1 に示す。表 1 には、参考に各機種のスぺックを付記している。表 1 のように、Jetson Xavier NX を用いることで、1 画像あたり約 0.33 秒で YOLO v3 の推論が可能である。なお、Jetson Nano では、GUI (Graphical User Interface) モードで YOLO v3 の推論を行った場合、メモリ不足により、推論を実行できない場合が確認された。

学習に用いていない欠陥画像を YOLO v3 で推論した結果の例を図 7 に示す。図 7 のように、YOLO v3 により欠陥の検出が可能であることを確認した。

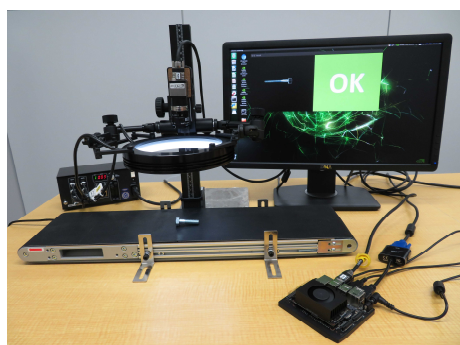


図 6 AI 外観検査装置



図 7 AI の推論結果

4 まとめ

NVIDIA Jetson シリーズと YOLO v3 を用いた AI 外観検査装置を開発した。YOLO v3 の推論速度は、512×512 の画像において、Jetson Nano で 1.28 秒、Jetson Xavier NX で 0.33 秒であった。推論速度やメモリ、コストの面から判断すると、現場の生産ラインには Jetson Xavier NX を使用した AI 外観検査装置が有用であると考えられる。今後は他のオープンソース AI の実装も進めるとともに、本技術の県内中小企業への展開を進める。

文 献

- 1) Joseph Redmon ほか : You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, CVPR, pp. 779-788(2016)
- 2) Joseph Redmon ほか : YOLOv3: An Incremental Improvement, arXiv preprint, arXiv:1804.02767(2018)
- 3) Paul Bergmann ほか : MVTEC AD -- A Comprehensive Real-World Dataset for Unsupervised Anomaly Detection, CVPR, pp. 9592-9600(2019)