

Realisierung einer Plattform für Maschinelles Sehen auf Basis Docker mit PyTorch und YOLO

T3_3101 Studienarbeit

des Studienganges Angewandte Informatik an der
Dualen Hochschule Baden-Württemberg Mosbach



von
Tilman Alexander Lorenz

Bearbeitungszeitraum	9 Monate
Matrikelnummer, Kurs	2447899, INF20B
Ausbildungsfirma	Robert Bosch GmbH - Werk Bamberg
Betreuer der Dualen Hochschule	Prof. Dr. Carsten Müller

14. Mai 2023

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	iii
1 Voraussetzungen	1
1.1 Probleme + Lösungen der Installation	1
2 YOLO	2
2.1 Generelle Ordnerstruktur	2
2.2 Aufbau der Label	3
2.3 YAML Klassifizierungsfile	4
3 Anleitung für Docker starten	5
3.1 Docker starten	5
3.2 Docker YOLOv5 Container Setup und Vorbereitungen	6
3.2.1 YOLO Modell Trainieren	7
3.3 Den Docker Container anschauen	8
3.4 Docker Container stoppen und löschen	9
4 Bilderkennung und Leistungsnachweise	10
5 Docker aufsetzen auf dem HPC	11
5.1 Installation Docker	11
5.1.1 Konfiguration Dockergruppe und zuweisung rechte	11
5.1.2 Verschieben der Dockerdaten	12

Abkürzungsverzeichnis

YOLO You Only Look Once

HPC High Performance Computer

Abbildungsverzeichnis

2.1	Ordnerstruktur für einen Datensatz	2
2.2	Struktur YOLO Format veranschaulicht	3
3.1	Berechtigungen wie sie meistens voreingestellt sind durch Windows	6
3.2	Zielzustand Berechtigungen	6

Tabellenverzeichnis

1 Voraussetzungen

Für eine erfolgreiche Installation der Umgebung auf dem Testsystem (für Development oder Debugging) sind folgende Sprachen/ Frameworks/ Pakete notwendig:

- Python ≥ 3.9
- PyTorch \rightarrow latest stable Version
- NVIDIA CUDA Toolkit \rightarrow entsprechende Version (**muss NICHT die neuste sein**)
- (You Only Look Once (YOLO)v5)

Zum Zeitpunkt des Schreibens ist die neuste PyTorch Version 1.13.1. Dazu muss der entsprechende CUDA Compiler ausgesucht werden. Das wäre in diesem Fall die Version 11.6 und nicht die aktuellste CUDA Version. Es wird empfohlen nicht CUDA selber zu installieren, sondern dies mit PyTorch zusammen installieren. Installiert wird PyTorch zusammen mit CUDA mit:

```
pip3 install torch torchvision torchaudio
--extra-index-url https://download.pytorch.org/whl/cu117
```

Der Link kann je nachdem geändert werden, was für eine CUDA Version benötigt wird. Dies kann sich von der Version des NVIDIA Treibers abhängig sein.

1.1 Probleme + Lösungen der Installation

Bei der Installation kann es zu verschiedenen Probleme kommen, die zumindest beim Bearbeiten der Arbeit entstanden sind.

Problem 1: Der Dockercontainer Startet nicht. **Lösung:**

1. Das GitHub Repository von ultralytics [**glennjocher.2023**] neu clonen
2. Das Dockerfile von `./utils/docker/Dockerfile` in `./` rein kopieren
3. Dockerfile ausführen (das kann je nach Anwendung eine sehr lange Zeit in Anspruch nehmen aufgrund der Größe)
4. Dockercontainer starten

2 YOLO

YOLO ist ein populäres Objekt Erkennungsmodell, dass dafür bekannt ist besonders schnell und akkurat Objekte in Bildern zu erkennen. Dies liegt an der kleinen Modellgröße und den hohen Berechnungsgeschwindigkeiten. Des Weiteren nutzt YOLO das gesamte Bild als Trainingsgrundlage, was es sowohl ermöglicht Videos zu klassifizieren als auch die Fehlerrate reduziert, dass der Hintergrund als Teil des Objektes klassifiziert wird. In diesem Kapitel geht es darum wie die Schnittstelle bzw. der Algorithmus gefüttert werden muss und was der Algorithmus für Datenformate erwartet [Jiang.2022].

Für die Studienarbeit wird der YOLOv5 von ultralytics [glennjocher.2023] genommen, da diese folgende Vorteile bietet:

- aktive Developer am Projekt
- große Community
- Docker deployable
- CUDA- und GPU-Unterstützung
- Pytorch Beschleunigung

2.1 Generelle Ordnerstruktur

Der YOLO-Algorithmus erwartet zum funktionieren eine generelle Ordnerstruktur, gezeigt in Abbildung 2.1. Der oberste Ordner ist dabei der Projektnameordner. In diesem müssen alle Projektrelevanten Bilder und Label enthalten sein.

Auch darin enthalten sein muss das *.yaml* file. Das wird in Abschnitt 2.3 noch mal genauer beschrieben. Ansonsten müssen neben dem *.yaml* file noch ein Ordner für die Trainingsdaten enthalten sein. Optional auch ein Testdatenordner und Validierungsdatenordner. Diese müssen wie der Trainingsdatenordner unter dem Projektordner eingeordnet werden.



Abbildung 2.1: Ordnerstruktur für einen Datensatz

2.2. AUFBAU DER LABEL



Abbildung 2.2: Struktur YOLO Format veranschaulicht

Der Test, Train und Validordner müssen alle jeweils 2 Ordner haben für images und labels. Diese müssen auch über die verschiedenen Ordner exakt gleich benannt sein. Das heißt auch in der Groß- und Kleinschreibung.

In dem images Ordner sind die vielen Testbilder enthalten, und in Labels die entsprechenden label dazu. Als Bildformate werden von dieser YOLO Version png, jpg und tiff Formate verarbeitet. Jeder Bildname muss einzigartig vorhanden sein (ich empfehle einfach die Bilder durchnummerieren).

Bei den labels werden nur .txt Dateien akzeptiert. Wichtig ist hier, dass die Daten zu einem Bild in einer gleichnamigen .txt-Datei enthalten ist. Wenn als Beispiel ein Bild mit dem Namen *test.jpg* vorhanden ist muss im Ordner labels auch das dazugehörige Labelfile *test.txt* heißen.

2.2 Aufbau der Label

Jede Textdatei beinhaltet alle Label, die in dem dazugehörigen Bild zu finden sind. Dabei steht jede Zeile für ein Objekt das auf der Abbildung auffindbar ist. Diese können sich auch überlappen. Eine Zeile ist wie aufgebaut:

```
<class> <x_center> <y_center> <width> <height>
```

Die "class" gibt an, welche Klasse das markierte Objekt hat. Die Klasse und dessen Name wird in dem YAML File definiert, worin auch angegeben wird wie viele Klassen es insgesamt gibt aber das wird in Abschnitt 2.3 noch einmal genauer erklärt. Der *x_center* gibt den Mittelpunkt des Labels an entlang der x-Achse (horizontal). *y_center* gibt das gleiche in der Vertikalen Richtung an. Genau kann das in

2.3. YAML KLASSIFIZIERUNGSFILE

Abbildung 2.2 sehen. Der Punkt in der Mitte ist definiert durch *x_center* und *y_center*. Die komplette Breite und Länge wird entsprechend durch *width* und *height* dargestellt.

Insgesamt werden alle Maße nicht in der px Anzahl dargestellt. Es wird dargestellt als das Verhältnis von der Länge/ Breite zur Gesamtlänge und -breite. Es wird dargestellt als eine *float*-Nummer zwischen 0 und 1. Bei dem *x_center* und *y_center* wird zwischen den Punkt und dem Nullpunkt die Länge und Verhältnis zum gesamten Bild genommen in der entsprechenden Dimension.

2.3 YAML Klassifizierungsfile

Für jedes Projekt gibt es im Basis Folder ein *.yaml* File mit einem selbstgewählten Namen. Dieses File besteht aus drei Teilen. Diese sind wie folgt aufgebaut:

```
path: <path-to-yolo>
train: <rel-path-to-train-dir>
val: <rel-path-to-val-dir>

names:
  0: <name>
  ...
```

<rel-path-to-train-dir> ist der relative Pfad zum Trainingsdatensatz. Wenn der Standardtrainingssatzaufbau wie in Abbildung 2.1 aufgesetzt ist, dann ist dies *./train/*. Der Pfad für den Validierungsdatensatz <rel-path-to-val-dir> ist ähnlich zu dem Trainingsdatensatzpfad. Beim Standardformat wäre es *./valid/*. Der Pfad gibt den momentanen Pfad an. Dieser wird durch die API ersetzt und kann standardisiert mit einem „*..*“ angegeben.

Unter *names* werden die Namen aller relevanten Klassen angegeben. Dies sind die Klassen der jeweiligen Label und deren Bedeutung. Das heißt für ein Label einer Roten und gelben Ampel die geradeaus führt würde es beispielsweise heißen *0: rot-gelb-geradeaus*. Alle Label werden aufsteigend nummeriert. Die jeweilige Nummer in dem YAML File muss mit der jeweiligen Nummer in den *.txt* Files übereinstimmen. Wenn die Nummer dieselbe ist, geht der YOLO-Algorithmus aus, dass die jeweilige Nummer des Labels den Text beschreibt der im *.yaml* File steht.

3 Anleitung für Docker starten

3.1 Docker starten

1. Verbinden mit High Performance Computer (HPC)
2. Unter `/mnt/data/outside-data/` Ordner mit Namen Projekt anlegen für Studierenden (`mkdir <Projektname>`)
3. Studierenden privaten Key vom Nutzer `docker_user` geben
4. Studierende kopiert Daten auf `/mnt/data/outside-data/` → die folgenden Schritte beziehen sich auf ein Windows Betriebssystem, für Linuxsysteme sind die ähnlichen Schritte nur die Berechtigungsschritte werden per `chown 700 <user><key>`
 - a) Studierende speichert Private Key auf PC ab
 - b) Verbindung des PCs mit Mosbach VPN (Lehre Netz)
 - c) Rechtsklick auf private Key im File Explorer → Properties → Sicherheit → erweitert → sollte Berechtigung sehen wie in Abbildung 3.1
 - d) klicken auf Vererbung Deaktivieren
 - e) Hinzufügen klicken → SYSTEM suchen → Lese- und Execute und Schreibrechte geben → Ok klicken
 - f) Hinzufügen klicken → <eigenen Nutzer>suchen → Lese- und Execute und Schreibrechte geben → Ok klicken
 - g) danach sollte Berechtigung aussehen wie in Abbildung 3.2
 - h) Kommandozeile öffnen → wechseln in Directory wo Key legt
 - i) Folgendes Kommando eingeben (alles eine Zeile)

```
scp -i <keyfile Name> -P 2022 <Pfad zu Datenablage>
docker_user@193.197.11.229:/mnt/data/outside-data/
<Name des Projektes>/
```

- j) Information: <Pfad zu Datenablage> ist der Pfad zur Base Directory → alles darin wird rüberkopiert / <Name des Projektes> ist ein vorher angelegter

3.2. DOCKER YOLOV5 CONTAINER SETUP UND VORBEREITUNGEN

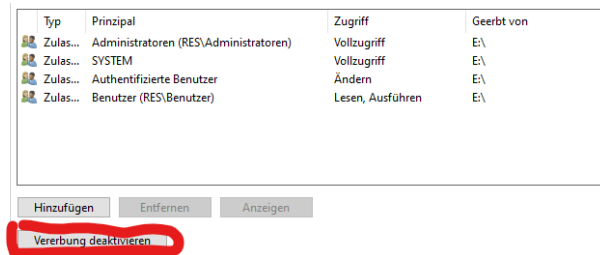


Abbildung 3.1: Berechtigungen wie sie meistens voreingestellt sind durch Windows



Abbildung 3.2: Zielzustand Berechtigungen

Ordner, der den Namen des Projektes trägt, Passwort eingeben → wird von Herrn Müller übergeben

5. Dockercontainer installieren → wenn YOLOv5 bitte unten den Anweisungen folgen
6. Client schließen und laufen lassen

3.2 Docker YOLOv5 Container Setup und Vorbereitungen

Wichtig: Die Umgebung mit YOLO und PyTorch ist schon aufgesetzt mit dem Dockercontainer der von Dockerhub gezogen wird. Insofern keine Änderungen am Algorithmus vorgenommen wurden, reicht dieser Container vollkommen aus und liefert alle nötigen Umgebungswerkzeuge

1. Entsprechenden Dockercontainer Pullen per Kommando: `docker pull ultralytics/yolov5:latest`
2. eingeben Kommando unten (alles eine Zeile)

```
docker run --ipc=host -it --gpus all --memory="<memory limit>"  
--cpus="<cpu limit>" --network host -v  
/mnt/data/outside-data/<projektname>/:/usr/src/datasets  
ultralytics/yolov5:latest
```

3.2. DOCKER YOLOV5 CONTAINER SETUP UND VORBEREITUNGEN

- `<memory limit>` wird eingegeben wie viel GB der Container nutzen darf, dabei immer nur das Vorzeichen Gigabyte \rightarrow g / Megabyte \rightarrow m
 - `<cpu limit>` gibt an wie viele CPUs maximal genutzt werden dürfen vom Container als Gleitkommazahl \rightarrow 2 CPUs entspräche 2.0
 - sowohl die `gpu` flag, `memory` flag als auch `cpu` flag dürfen weg gelassen werden, dann läuft der Container auf der gesamten Hardware
 - wenn der Container nicht die GPU nutzen soll, muss die Flag: `-gpu all` weggelassen werden
3. versichern Sie sich, dass die Daten unter `/usr/src/datasets/` vorhanden sind
 4. geben sie `exit` ein in die Kommandozeile
 5. Eingeben des folgenden Kommandos:

```
docker start <cont_id>; docker exec <cont_id> <yolo_befehl> &
```

- `<cont_id>` ist dabei die ID des jeweiligen Docker Containers
 - `<yolo_befehl>` Befehl zum Ausführen des Detektionsskriptes siehe Unterabschnitt 3.2.1
6. Jetzt trainiert der Docker Container

3.2.1 YOLO Modell Trainieren

Um das Modell zu trainieren sollte in den Docker Container gewechselt werden und das Terminal geöffnet werden. Mit dem Kommando `bash` wird in Bash gewechselt und es kann gesehen werden in welchem Ordner man sich befindet.

Für das Training des Modells muss in das Base Directory von dem YOLOv5 Repository gewechselt werden. Darin befindet sich die `train.py` datei. Hierbei kann man das Training mit dem folgenden Befehl starten:

```
python train.py --img <size_of_img> --batch <size_of_batches> --epochs <epochs>  
  
--data <data_path_to_yaml> --weights <weights> [--device <device_numbers> ]
```

Die in eckigen Klammern stehende Begriffe sollen nun nochmal erklärt werden:

- `<size_of_img>` definiert die Breite des Bildes in Pixel. **Achtung:** Je höher der Pixelcount, desto höher der RAM / VRAM Verbrauch aber der Anstieg ist nicht linear, sondern Exponentiell

3.3. DEN DOCKER CONTAINER ANSCHAUEN

- `<size_of_batch>` gibt an wie viele Bilder in einem Durchgang (Epoche) analysiert werden soll. Diese kann per Hand vorgegeben werden, allerdings passiert es dann, dass aufgrund unzureichenden Videospeichers das Training abbricht. Für eine dynamische Anpassung des Videospeichers -1 eingeben. Allerdings kann es sein, dass dann alle Ressourcen genutzt werden.
- `<epochs>` gibt an wie oft trainiert wird. Für jede neue Epoche werden die nächsten Batch an Images analysiert bis alle Bilder analysiert sind und der Algorithmus beginnt wieder von vorne. Somit wird sichergestellt, dass bei einer hohen Anzahl an Bildern alle Bilder untersucht werden.
- `<weights>` Für das Training gibt es 5 verschiedene Gewichte: Nano, Small, Medium, Large und XLarge. Für die jeweiligen Gewichte muss folgendes eingegeben werden. Es sei zu beachten, dass mit zunehmender Größe die Rechendauer und der Platz an benötigten Arbeitsspeicher massiv zunimmt.
 - Nano → *yolov5n.pt*
 - Small → *yolov5s.pt*
 - Medium → *yolov5m.pt*
 - Large → *yolov5l.pt*
 - XLarge → *yolov5x.pt*
- `<device_numbers>` dies ist auch für die Arbeit ein optionaler Parameter. Dieser gibt an welche GPUs genutzt werden sollen. Wird, das ausgelassen geht der Algorithmus von einer CPU Berechnung aus und nutzt den vorliegenden Arbeitsspeicher und die CPU. Damit GPU(s) genutzt werden können müssen die Nummern der GPUs angegeben werden. Diese wird durch das Betriebssystem bestimmt. Wenn nur eine GPU vorhanden ist, ist dies i.d.R. 0. Damit wird der komplette VRAM der GPU genutzt. Voraussetzung dafür ist es, dass das NVIDIA CUDA Toolkit installiert ist und der GPU für den Docker freigeschaltet ist, was jedoch der default ist. Für mehrere GPUs einfach mit Kommata die GPUs auflisten. Für mehr Informationen *[hier klicken](#)*.

3.3 Den Docker Container anschauen

Dieser Abschnitt befasst sich damit wie man während des Laufes den Docker Container betreten kann ohne, dass der Trainingsprozess stoppt

1. Docker Container anzeigen lassen mit *docker ps*
2. Konsole des Dockercontainer verbinden *docker attach <cont_id>* → damit wird die Konsolenausgabe des Dockercontainers mit der eigenen verbunden

3.4. DOCKER CONTAINER STOPPEN UND LÖSCHEN

3. bei Verlassen erst *Strg + P* und anschließend *Strg + Q* drücken

3.4 Docker Container stoppen und löschen

Zum Stoppen des Containers kann der folgende Befehl gesetzt werden:

```
docker stop <container_name>
```

Der `<container_name>` kann durch den Befehl `docker ps` angezeigt werden. Dabei wird in der letzten Spalte der Containername angezeigt und in der ersten Spalte die id. `docker stop` nutzt die ID des Docker Containers.

Mit dem Befehl `docker rm <container_id>` kann dann der Container gelöscht werden

4 Bilderkennung und Leistungsnachweise

Nach der Trainingsphase kann aus dem Verzeichniss `/usr/src/app/runs/train/«number_exp»/weights` die Gewichtsdatei: *best.pt* heraus kopiert werden dies kann mit Hilfe des Docker Kommandos *docker cp* realisiert werden. Ahnschließend kann dies wieder auf den lokalen Rechner übertragen werden. Um nun innerhalb eines Videos oder eines Bildes docker die Objekte zu erkennen muss folgender Kommando eingegeben werden. Das Kommando muss ausgeführt werden im Basis Verzeichnis des YOLO Algorithmus. Dies kann entweder innerhalb des Docker Container sein oder auf dem eigenen Rechner, wo man den *YOLOv5*-Algorithmus erhält, indem man das entsprechende Repository von ultralytics klonet.

```
python detect.py --source <source> --weights <pfad_zu_gewicht>
--conf <confidence>
```

- `<Source>` → ist das Bild/ Video, wobei Objekte erkannt werden. Dieses kann ein Video-, Bild-, oder Datenstream-Format sind. Welche Formate genau unterstützt werden ist in der Dokumentation/ Q&A einzusehen.
- `<pfad_to_gewicht>` → ist der Pfad wo *best.pt* abliegt. Dies muss der Absolute Pfad sein. Allgemein gehen alle Gewichte die durch den *YOLOv5*-Algorithmus trainiert wurden
- `<confidence>` → definiert die Konfidenz, ab der ein Label erstellt werden soll. Diese wird als Dezimalstelle von $\text{conf} \in [0, 1]$ dargestellt
- für weitere Optionen wird an dieser Stelle gebeten die offizielle Dokumentation einzusehen

5 Docker aufsetzen auf dem HPC

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit dem aufsetzen der Docker Umgebung.

Disclaimer: Dieses Tutorial ist ein Weg, wie man alles aufsetzen kann. Dabei gibt es mehrere Wege und aufgrund der unterschiedlichen Konfigurationen von Systemen. Ist dies kein allgemeiner Guide. Dies ist ein Weg wie der autor den HPC aufgesetzt hat. Generell werden hier viele Quellen zitiert, da dies für jedes System unterschiedlich ist.

5.1 Installation Docker

Wichtig: Docker funktioniert auf den Ubuntuversionen 20.10 und 22.10. Für weitere Informationen dazu bitte die *Docker Dokumentation* aufrufen.

Für die Installation der Docker Umgebung sollten folgende Schritte befolgt werden:

1. mit `sudo apt-get update` das gesamte System updaten bzw. die Ressourcen updaten
2. Docker installieren nach der *Docker Dokumentation*. Dabei ist vor allem wichtig die URLs für das Installationstool *apt*. Für den Fall, dass dies nicht funktioniert
3. mit `sudo docker run hello-world` sollte danach funktionieren und ohne Probleme laufen

Die folgenden Punkte beziehen sich auf verschiedene Einstellungen.

5.1.1 Konfiguration Dockergruppe und zuweisung rechte

Damit manche Leute Dockerbefehle ausführen können, bräuchten diese normalerweise root rechte bzw. sudo rechte. Damit dies nicht gewährleistet werden muss, wird eine Gruppe namens docker erstellt, die Zugriffe haben auf den docker dämon.

Achtung: Es sollten die Personen, die Teil der Gruppe sind sorgfältig ausgewählt werden da durch den Dämon indirekt die Personen root Rechte haben bzw. durch Docker Dinge als root ausführen können. Somit ist dies zu vermeiden.

1. Für das konfigurieren folgen Sie der *Anleitung*.
2. Anschließend können sie über den Befehl `sudo usermod -aG docker <user>` einen

5.1. INSTALLATION DOCKER

Nutzer hinzufügen. Dafür muss `<user>` ersetzt werden durch den eigentlichen Benutzernamen

3. anschließend können per *docker* `<command>` Docker Container gestartet, bearbeitet und gestoppt werden

5.1.2 Verschieben der Dockerdaten

Hier wird gezeigt wie die Dockerdaten in ein anderes Verzeichnis geschoben werden können und somit auch die Daten auf eine andere Platte geschoben werden können um evtl. Speicherplatz zu sparen oder große Plattenkapazitäten auszureizen. Dafür ist es zu empfehlen der Anleitung von *GuguWeb* oder *IBM* zu folgen.