

EcoVision

Teilnehmende (mit Alter): Emily Ivanov(12), Maximilian Stockhaus(15), Michael Gossen(13)

Erarbeitungsort: privat, zu Hause

Projektbetreuer: Valentin Heinitz

Thema des Projekts: Mülltrennung mit Computer-Vision und KI

Fachgebiet: Informatik

Wettbewerbssparte: Jugend forscht

Bundesland: Hessen

Wettbewerbsjahr: 2023/2024

Projektüberblick

Unser Projekt EcoVision baut auf Emilys Projekt vom Jahr 2023 auf. Emily konzentrierte sich damals auf die Entwicklung einer innovativen automatisierten Mülltrennungslösung, die auf der Erkennung von Müllarten durch Computer basierte. In ihrem Projekt erfolgte die Erkennung ausschließlich durch den Effekt der Polarisation von Licht, wobei polarisiertes Licht in durchsichtigem Plastik Farbmuster erzeugte, die dann von einer Kamera als Helligkeitsunterschiede wahrgenommen wurden. Die Kamera fungierte dabei quasi als ein sehr teurer Photowiderstand.

Dieses Jahr liegt unser Fokus jedoch auf einer Bildauswertung, die auf künstlicher Intelligenz (KI) basiert. Wir haben ein intelligentes System entwickelt, das verschiedene Müllarten erkennt und sortiert. Unser Ziel war es, einen praktischen Ansatz zur Bewältigung des wachsenden Problems der Umweltverschmutzung durch Abfall zu finden. Inspiriert von aktuellen Technologien in den Bereichen KI und maschinelles Lernen, entschieden wir uns für die Nutzung der KI zur automatisierten Mülltrennung.

Wir entwickelten ein Förderband, das mit einer Kamera und einem Metalldetektor ausgestattet ist. Die Kamera nimmt Bilder vom Förderband auf, und bei Erkennung eines Objekts startet die Auswertung. Die Daten von der Kamera und dem Metalldetektor werden von einem KI-Modell verarbeitet, das mit Google Teachable Machines trainiert wurde. Unser Modell kann jetzt Plastikflaschen, Glasflaschen, Metall, Tetrapaks und Batterien erkennen und entsprechend sortieren, was eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Projekt aus 2023 darstellt.

In Zukunft planen wir weitere Erkennungsmethoden zu testen, um beispielsweise Biomüll und andere Abfallarten identifizieren zu können. Außerdem möchten wir unser eigenes Programm zur Erstellung des KI-Modells entwickeln, um uns von Google's Teachable Machines unabhängig zu machen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|---|
| Projektüberblick..... | 1 |
| Inhaltsverzeichnis..... | 2 |
| Fachliche Kurzfassung | 3 |
| Motivation und Fragestellung..... | 4 |
| Hintergründe und Theoretischen Grundlagen..... | 5 |
| Geschichte und Bedeutung der Abfalltrennung | 5 |
| KI..... | 5 |
| Vorgehensweise, Materialien und Methoden | 6 |
| Ergebnisse und Ergebnisdiskussion | 8 |
| Ausblick..... | 8 |
| Quellen- und Literaturverzeichnis | 9 |
| Unterstützungsleistungen | 9 |

Fachliche Kurzfassung

In unserem Projekt haben wir eine innovative Müllsortieranlage entwickelt, die auf der Verwendung einer Kamera und eines Metalldetektors basiert. Die Kamera ist für die Erkennung von fünf verschiedenen Müllarten zuständig, wobei das Erkennungsmodell mit Google Teachable Machine erstellt wird. Teachable Machine ist ein benutzerfreundliches Tool von Google, das es auch Nicht-Programmierern ermöglicht, Modelle für maschinelles Lernen zu erstellen. Ein solches Modell ist eine Sammlung von Regeln, die der künstlichen Intelligenz (KI) Entscheidungen ermöglichen und wird in einer speziellen Datei gespeichert. Diese Modelle können entweder direkt online getestet oder exportiert und in eigenen Projekten eingesetzt werden.

Für die Trennung von metallhaltigem Müll nutzen wir einen Metalldetektor. Die erlernten Modelle werden offline in Python verwendet. Die mechanische Umsetzung der Sortierprozesse erfolgt durch ein selbstgebautes Förderband aus dem Vorprojekt, das mittels Schrittmotoren gesteuert wird. Der Auswurf der identifizierten Müllarten wird durch zwei Servomotoren realisiert, die oberhalb des Förderbands angebracht sind und den Müll zur Seite stoßen können. Wenn die Schrittmotoren inaktiv sind, bewegt sich der Müll bis zum Ende des Förderbands und fällt dort herunter.

Die gesamte Anlage wird über eine Arduino-Plattform elektrisch gesteuert, die als verteiltes System fungiert.

Die gesamte Anlage wird über eine Arduino-Plattform elektrisch gesteuert, die als verteiltes System fungiert. Dabei erfolgt die Kommunikation zwischen dem zentralen PC und den einzelnen Arduino-Steuerungen über eine serielle Schnittstelle.

Die Lerndaten für die KI-Modelle haben wir mithilfe eines eigenen Python-Skripts direkt in der Anlage gesammelt. Dieses Skript speichert einfach das aktuelle Kamerabild in einem Verzeichnis ab, wobei jedes Verzeichnis Bilder einer bestimmten Klasse enthält. Im Kontext der KI bezeichnet eine Klasse eine Art von Objekten, die erkannt werden können.

Für jede Müllart haben wir etwa 100 Bilder gesammelt. Diese Bilder haben wir auf Teachable Machine hochgeladen und dort fünf verschiedenen Klassen zugeordnet. Zum Zeitpunkt der Erstellung des Modells erreichten wir eine Genauigkeit von 80%. Wir arbeiten kontinuierlich daran, unser Modell zu verbessern und die Genauigkeit der Müllerkennung zu steigern.

Motivation und Fragestellung

In vielen Haushalten aber auch an größeren Industrien wird Müll leider immer noch falsch oder gar nicht sortiert. Deswegen möchten wir das zunehmende Umweltverschmutzungsproblem durch falsch entsorgten Müll angehen und bewältigen, indem wir unser eigenes Mülltrennungssystem entwickeln.

Unsere Hauptfragestellung besteht darin, wie wir durch die Anwendung von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen, die Mülltrennung automatisieren und somit zu einer nachhaltigeren Umwelt beitragen können.

Der Fokus des früheren Projekts von Emily lag hauptsächlich auf Plastikmüll. Emily hat von den Problemen und Gefahren für Meerestiere durch Plastikmüll erfahren und wollte sich für die Zukunft rüsten. Als Kinder können wir etwas bewirken, indem wir selbst bei der Mülltrennung diszipliniert sind. Doch bald werden wir Studenten, Ingenieure und Entscheidungsträger sein und dann können wir unsere Ideen in die Tat umsetzen.

Wir haben uns von Emilys Idee inspirieren lassen und wollten diese weiterentwickeln. Die grundlegende Fragestellung war, ob wir mit unserem Wissen ein KI-System bauen können, das verschiedene Arten von Müll erkennt. Wir haben Googles Teachable Machines bereits früher in einem Computerkurs kennengelernt und hatten die Idee entwickelt, das Problem damit lösen zu können.

Hintergründe und Theoretischen Grundlagen

Geschichte und Bedeutung der Abfalltrennung

Die Wohlstandsgesellschaft produziert jedes Jahr zunehmend mehr Müll, wobei das, was früher als Abfall galt, heute als wertvoller Rohstoff für die Recyclingindustrie betrachtet wird. In Deutschland fallen jährlich rund 40 Millionen Tonnen Hausmüll an, hauptsächlich Verpackungen und Abfallvermeidung steht vor Recycling. Wenn Müll unvermeidbar ist, sollte er recycelt werden, um Rohstoffe zu gewinnen und natürliche Ressourcen sowie Energie zu sparen, wobei jede Tonne Recyclingplastik eine Tonne CO₂ einspart. Das Recyclingpotential von Kunststoffen und Baumaterialien wird in Deutschland noch nicht voll ausgeschöpft, aber die Mülltrennung zu Hause ist entscheidend für effizientes Recycling und die Erzeugung von hochwertigem Recyclingmaterial. Sortieranlagen können noch nicht so effektiv trennen wie Menschen zu Hause. Eine sorgfältige Trennung erleichtert das spätere Sortieren und Recyceln von Kunststoffen und Metallen in den Anlagen. Genau da setzt unsere Überlegung an. Durch die KI wollten wir die Qualität der Sortieranlagen verbessern.

KI

Künstliche Intelligenz (KI) ist ein Bereich der Informatik, der sich damit beschäftigt, Maschinen zu erschaffen, die Aufgaben ausführen können, die normalerweise menschliche Intelligenz erfordern. Dazu gehören z.B. das Erkennen von Mustern, Sprachverstehen oder Entscheidungsfindung. Von KI spricht man meistens dann, wenn eine Maschine die Entscheidung nicht anhand der festprogrammierten Algorithmen trifft, sondern mit Hilfe des Lernens von Beispielen. Für das Verständnis von KI sind folgende Begriffe wichtig:

Sample oder Beispiel - Eine einzelne Dateninstanz (z. B. ein Bild), die zum Trainieren oder Testen eines KI-Modells verwendet wird.

Klasse - Kategorie das einem Sample zugeordnet wird. z. B. könnte "Dose" eine Klasse sein, in die viele Bilder, die Dosen enthalten, eingeordnet sind.

Modell - Eine Art mathematisches Regelwerk, das lernt, Muster in Daten zu erkennen. Es wird trainiert, anhand von Beispielen (Samples) Klassen zu erkennen und Vorhersagen zu treffen.

Lernen - Prozess, bei dem ein Modell aus Daten lernt.

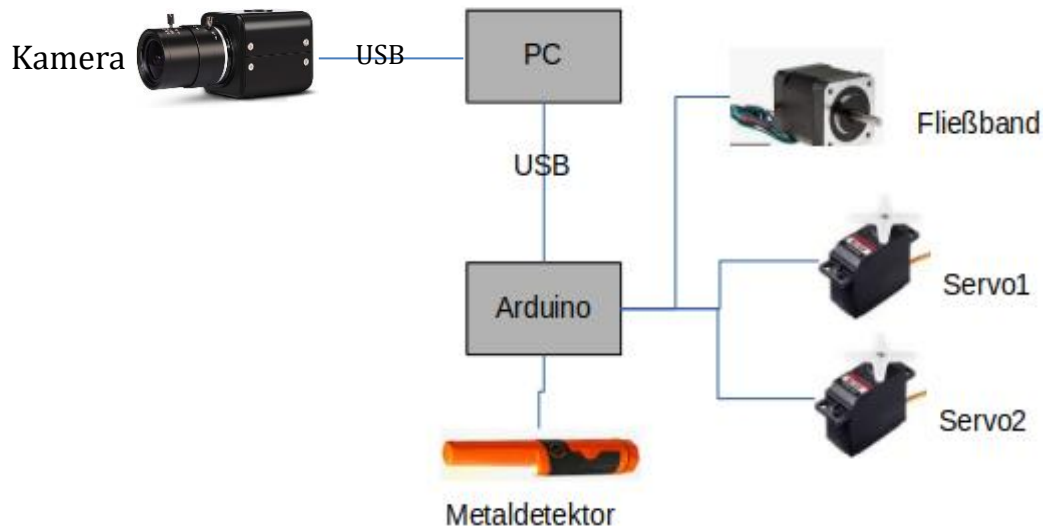
Erkennung - Prozess, bei dem das KI-System mit einem zuvor gelernten Modell unbekannte Bilder in Klassen einordnet.

Fortschritte in der KI und insbesondere in der ComputerVision haben zahlreiche Anwendungen ermöglicht, von Gesichtserkennung über medizinische Bildanalyse bis hin zu autonomen Fahrzeugen, indem sie Computern beibringen, visuelle Informationen so zu verarbeiten und zu interpretieren, wie es Menschen tun.

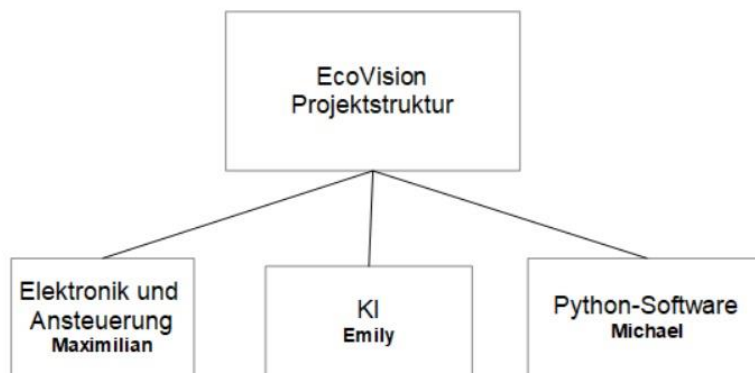
Vorgehensweise, Materialien und Methoden

Das Projekt basiert auf dem Projekt von Emily aus dem Jahr 2023. Wir haben ihre Konstruktion nur geringfügig umgebaut. Die Objekte mussten nicht mehr durchleuchtet werden, deshalb haben wir die Kamera oben angebracht. Dafür haben wir die Rahmen oberhalb des Förderbandes gebaut.

An dem Rahmen haben wir ebenfalls beide Servomotoren befestigt. Arduino und Servomotoren haben wir ganz neu verkabelt.



Die Abbildung zeigt unser Projekt. Auf dem PC ist eine Python-Software mit KI und Kamera Steuerung. Sie kommuniziert mit einem Arduino-Board. Über Steuerbefehle können die am Arduino angeschlossenen Servomotoren und Schrittmotor bewegt werden und der Metalldetektor kann abgefragt werden.



Wir haben das Projekt in drei Aufgabenbereiche aufgeteilt:

- KI – Modellentwurf, Anlernen vom Modell, Exportieren und Einbinden vom Modell
- Elektronik und Ansteuerung – Programmierung von Arduino, Verkabelung
- Python-Software – GUI, Kommunikation mit Arduino, Nutzung von KI-Modell

Wir haben zwischen den Aufgabenbereichen Schnittstellen definiert, um unabhängig voneinander entwickeln zu können.

Unser KI-System verwendet Teachable Machines von Google. Mit Teachable Machines haben wir zuerst einige Tests gemacht, um die Vorgehensweise beim Anlernen und Nutzen von KI-Systemen kennen zu lernen. Wir haben zuerst ein System entwickelt, dass zwei Arten von Objekten voneinander unterscheidet – Elektrobatterien und Zauberwürfel. Die Lernbilder haben wir direkt mit der PC-Kamera aufgenommen und später damit auch erkannt. Die wichtigste Erkenntnis daraus war, dass das System NUR die zwei Objekte erkennen konnte und bei der Entscheidung nur zwischen den zwei Klassen wählen konnte. Hat man keins von den zwei Objekttypen vor der Kamera gehalten oder sogar etwas ganz anderes vor der Kamera gehalten – so hat das System trotzdem als Antwort entweder einen Zauberwürfel oder Batterie vorgeschlagen.

Wir haben danach unser KI-System mit den unterschiedlichen Müllbildern angelernet. Bei Teachable Machines gibt es die Möglichkeit, entweder die Bilder direkt mit der Kamera aufzunehmen oder sie als Dateien hochzuladen. Beim Anlernen der Modelle macht es viel aus, wenn die Lernbilder und die Bilder, die später erkannt werden müssen, ähnlich sind. Das macht das Anlernen viel einfacher, weil man nicht so viele Bilder für eine gute Erkennung benötigt. Zum Beispiel, wenn wir später die Objekte auf dem schwarzen Fließband erkennen müssen, dann ist es besser, die Lernbilder ebenfalls auf dem Fließband unter ähnlichen Lichtverhältnissen, aus dem ähnlichen Winkel und von ähnlicher Distanz aufzunehmen.

Wir konnten das Modell nicht an einem Tag anlernen. Zum Glück gibt es bei Teachable Machines die Möglichkeit, das Projekt in Google-Drive zu speichern und zu laden.

Bei KI gibt es sehr viele verschiedene Methoden und Algorithmen, die seit der Mitte des letzten Jahrhunderts entwickelt werden. Die bekanntesten Algorithmen – Neuronale Netze (NN), versuchen das menschliche Nervensystem nachzuahmen. Ihre Erfindung hat vor etwa 70 Jahren für viel Aufregung gesorgt, weil ihre Erfinder versprachen, dass der Computer bald einen Menschen in Intelligenz übertreffen wird. Als nach einigen Jahrzehnten das Versprechen nicht wahr wurde, verloren die Neuronalen Netze an Vertrauen. Viele andere Algorithmen wurden parallel entwickelt und machten den NN Konkurrenz. Das waren zum Beispiel SVM – Support Vector Machine oder die sogenannten Ensemble-Algorithmen. Die Ensemble-Algorithmen, wie z. B. Random Forest, bestehen aus vielen einfachen, für sich allein nicht besonders genauen Algorithmen. Wenn sie jedoch in einem Verbund zusammenarbeiten und einander ergänzen, erzielen sie erstaunlich gute Ergebnisse.

2006 gab es jedoch neue Erkenntnisse, wie das menschliche Gehirn funktioniert. Diese Erkenntnisse wurden auf die Entwicklung der Neuronalen Netze übertragen. Es entstanden so genannte Deep-Learning Algorithmen. Mit diesen Algorithmen gelang 2012 ein Durchbruch.

Teachable Machines benutzt auch ein Deep-Learning System mit dem Namen TensorFlow.

Wenn man das angelernete Modell in eigener Software offline nutzen möchte, kann man von Teachable Machines sogar ein Beispielpogramm in Python herunterladen.

Ergebnisse und Ergebnisdiskussion

Mit EcoVision, unserem intelligenten System, das auf Bildauswertung basiert, können wir verschiedene Müllarten erfolgreich erkennen und sortieren. Im Vergleich zum vorherigen Projekt von Emily, das auf der Polarisierung von Licht basierte, stellt die aktuelle Lösung eine deutliche Verbesserung dar.

Die Müllsortieranlage verwendet ein Förderband mit einer Kamera und einem Metalldetektor. Die Kamera nimmt Bilder auf und die Daten von Kamera und Metalldetektor werden von einem KI-Modell verarbeitet. Dieses Modell wurde mit Google Teachable Machines trainiert. Das Modell kann nun Plastikflaschen, Glasflaschen, Metall, Tetrapaks und Batterien erkennen und entsprechend sortieren.

Die Erkennungsgenauigkeit des Modells beträgt etwa 90%.

Ausblick

In Zukunft planen wir EcoVision weiter zu verbessern, indem wir zusätzliche Erkennungsmethoden hinzufügen, um auch andere Abfallarten, wie z. B. Biomüll erkennen zu können.

Außerdem möchten wir, unser eigenes Programm zur Erstellung des KI-Modells entwickeln, um uns von Google's Teachable Machines unabhängig zu machen.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Ihr müsst alle Quellen und Unterstützungsleistungen nennen, die ihr für euer Projekt verwendet und in Anspruch genommen habt. Quellen sind z. B. Internetseiten, Fachzeitschriften und Bücher. Alle Angaben werden jeweils alphabetisch nach Nachnamen sortiert. Benutzt dafür euer Rechercheprotokoll. Wie ihr die unterschiedlichen Quellen richtig angebt, findet ihr in der nachfolgenden Box.

Geschichte der Abfalltrennung:

<https://www.ndr.de/geschichte/chronologie/Muelltrennung-Als-aus-Abfall-Wertstoffe-wur-den,muelltrennung162.html>

<https://wertstoffblog.de/2017/01/17/die-1980er-das-zeitalter-der-muelltrennung-beginnt-geschichte-des-recyclings-xii/>

Bedeutung der Mülltrennung:

<https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/oekologisch-leben/alltagsprodukte/19838.html>

Teachable Machines: <https://teachablemachine.withgoogle.com/>, besucht am 15.01.2024

Unterstützungsleistungen

Valentin Heinitz, Ingenieur, AESKU.GROUP Wendelsheim, hat uns bei der Erstellung unserer Arbeit unterstützt. Er hat uns bei den Arbeiten mit gefährlichen Instrumenten, wie Stichsäge, Styroporschneider, Löteisen unterstützt oder beaufsichtigt. Er hat uns seinen Zugang zu Chat-GPT 4.0 zur Verfügung gestellt, den wir für unsere schriftliche Arbeit, zur Erstellung der Beispielprogramme für Arduino oder einfach für die Lösungsideen nutzten. Er hat uns auch bei der Themenwahl beraten.