Karlsruhe Institute of Technology

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren

Prof. Dr. J.M. Zöllner

Nikolai Polley, Marcus Fechner
E-Mail: nikolai.polley@kit.edu

Maschinelles Lernen I: Grundverfahren

Wintersemester 2024/2025

Abgabe - ML1

(Bearbeitung in maximal 3er Gruppen in der Zeit vom 16.12.2024 bis zum 02.02.2025)

Lernziele: Praktisches Anwenden des gelernten Wissens

- Warum ist maschinelles Lernen für diese Aufgabe sinnvoll?
- Welche maschinelle Lernverfahren eignen sich?
- Was ist der Unterschied von Trainingsdaten, Validierungsdaten und Testdaten
- Welche Frameworks erleichtern das Programmieren?
- Welche Techniken erleichtern das Lernen?
- Welche Techniken beschleunigen das Lernen?

1 Überblick

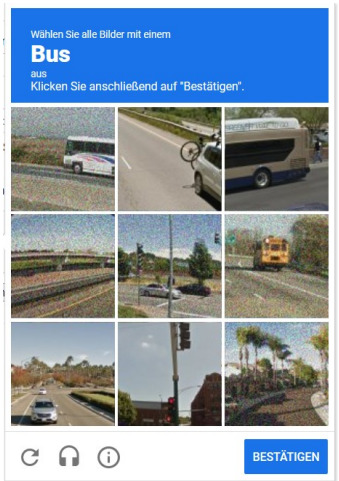


Abbildung 1: Generiertes CAPTCHA von `https://www.google.com/recaptcha/api2/demo`

Der Turing Test, entwickelt von Alan Turing 1950, soll den Unterschied zwischen Menschen und Maschinen erkennen. CAPTCHA ist die Kurzform von completely automated public Turing test to tell computers and humans apart. Sie werden verwendet, um zu verhindern, dass Computerprogramme Dienste ausführen können, die nur von Menschen ausführbar sein

sollen. Meist wird eine Aufgabe gestellt, die von Menschen leicht zu lösen ist, aber Maschinen vor hohe Herausforderungen stellt.
In reCAPTCHA v2 von Google werden u.A. einem Benutzer mehrere Bilder zur Auswahl gegeben, die einer vorgeschrieben Klasse zugeordnet werden sollen. Es bestand allgemein die Annahme, dass Maschinen nicht in der Lage sind, solche Klassifizierungen korrekt vorzunehmen. Sie sollen in dieser Abgabe allerdings ein maschinelles Lernverfahren erstellen, welches dennoch in der Lage ist, diese Klassifizierung zu tätigen. Es soll gezeigt werden, dass die Bildklassifikation durch moderne ML-Methoden keine gute Basis eines Turing Tests mehr ist.

2 Organisatorisches

Die Aufgabe startet am 16.12.2024 und darf bis zum 02. Februar 2025, um 23:55 bearbeitet werden. Sie dürfen die Aufgabe in bis zu 3er Gruppen bearbeiten, aber auch in kleineren Gruppen oder sogar einzeln. Jede Gruppe darf nur ein Ergebnis abgeben, z.B. darf eine 3er Gruppe nur ein Ergebnis abgeben.
Sie können sich in der Klausur bis zu einen Notenschritt (0,3/0,4) verbessern. Konkret sind das bis zu 3 Bonuspunkten. Im Regelfall gibt die Klausur 60 Punkte und unsere Notenskala vergibt alle 3 Punkte eine bessere Note. Sollte sich die Bewertung in zukünftigen Klausuren ändern, wird die Punkteverbesserung analog dazu verändert. Es besteht somit die die Möglichkeit, 1, 2 oder 3 Punkte durch diese Abgabe zu erhalten. Sollten Sie die Klausur nicht bestehen, werden keine Bonuspunkte auf die erreichten Punkte addiert.
Alle Mitglieder in der Gruppe erhalten die gleiche Anzahl von Bonuspunkten. Es wird garantiert, dass der Bonus in der Klausur von Wintersemester 2024/2025 und in dem Sommersemester 2025 gilt. Es wird nicht garantiert, dass der Bonus in den folgenden Semestern (WS 2025/2026 ...) angewendet wird. Die Abgabe muss über Ilias erfolgen. Dort können Sie bei „Team verwalten“ Ihre bis zu zwei Gruppenmitglieder anhand ihres u**** Kürzels hinzufügen.
Sollten Sie zu zweit oder zu dritt die Aufgabe bearbeiten, müssen Sie untereinander einen „Teamführenden“ auswählen, der Sie in Ilias in das Team aufnimmt und die Abgabe für alle Teilnehmenden in Ilias abgibt.
Es ist nicht möglich nach der Abgabefrist einem Team zugeordnet zu werden. Stellen Sie daher sicher, dass ihr Teamführende Sie in das Ilias Team hinzugefügt hat und die erforderlichen Dokumente hochgeladen hat.
Sie dürfen nicht in einer 3er Gruppe die Aufgabe bearbeiten aber in Ilias drei getrennte aber gleiche Abgaben in 1er Gruppen zu tätigen. Dies hat den Hintergrund, dass unsere Plagiatssoftware in diesem Fall Ihre Abgaben als Plagiat erkennen würde.
Sollte eine Gruppe mehr als 3 Mitglieder besitzen wird ihre Abgabe nicht gewertet. Es ist nicht erlaubt, unbeteiligte Studierende in ein Team aufzunehmen.
Bei organisatorischen oder inhaltlichen Fragen zu der Abgabe soll das Ilias-Forum verwendet werden.

3 Datensatz

In Ilias ist ein Cloudanbieter verlinkt, auf dem zwei .zip Dateien hochgeladen sind: *train_val.zip*, *test.zip*. Sie sollen als Datensatz für diese Aufgabe ausschließlich diese beiden .zip Dateien verwenden. Es ist nicht erlaubt zusätzliche Daten von CAPTCHAs zu sammeln, um so den Datensatz zu vergrößern. Klassische Bildaugmentierungstechniken sind aber natürlich erlaubt.

3.1 TrainVal

Die erste Datei ist *train_val.zip*. Sie enthält 3000 `.png` Bilder von echten gesammelten reCAPTCHA v2 Aufgaben. Die Bilder haben teilweise unterschiedliche Auflösungsgrößen. Diese 3000 Bilder sind jeweils in eine von 12 Klassen unterteilt. Der Name des Ordners repräsentiert jeweils die Klasse/Label des Bildes. Achtung: der Datensatz ist nicht balanciert. Sie haben z.B. deutlich mehr Bilder in der Klasse „Car“ als in der Klasse „Chimney“. Sie sollen diese gelabelten Bilder verwenden um ihr maschinelles Lernverfahren zu trainieren. Aus diesem Ordner sollen Sie einen Trainingsdatensatz und einen Validierungsdatensatz erstellen. Die konkrete Aufteilung von Training und Validierung ist dabei Ihnen überlassen. Sollten Sie PyTorch benutzen, eignet sich die Klasse ImageFolder um aus dieser Datenstruktur einen Datensatz zu erstellen. Die Funktion random_split könnte daraus einen Trainings- und einen Validierungsdatensatz erstellen.

3.2 Test

Die zweite Datei ist *test.zip*. Sie enthält 8730 `.png` Bilder. Für diese Bilder erhalten Sie keine Label. Sie können allerdings davon ausgehen, dass alle Bilder in die gleichen 12 bekannten Klassen aus dem TrainVal Datensatz einsortierbar sind. Sie

können außerdem davon ausgehen, dass die Verteilung der Klassen im Testdatensatz ähnlich dem TrainVal Datensatz ist. D.h. auch in dem Testdatensatz sind deutlich weniger Bilder von „Chimney“ als von „Car“.

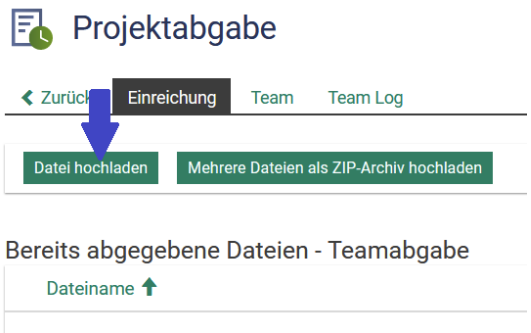
4 Aufgabe und Bewertung

Ihre Aufgabe ist ein maschinelles Lernverfahren zu erstellen, welches diesen Testdatensatz möglichst akkurat klassifiziert. Für diese Klassifikation dürfen alle vorhandenen maschinellen Lernverfahren verwendet werden. Dies beinhaltet auch Verfahren die nicht in der Vorlesung gelehrt werden. Auch eine manuelle Feature Erstellung (z.B. SIFT mit anschließendem ML Verfahren wäre denkbar. Mindestens eine Komponente ihres Programmes muss ein lernbares Verfahren sein, welches ausschließlich auf den Daten aus dem Trainval Datensatzes trainiert wurde.
Für die Bewertung verwenden wir ausschließlich die Genauigkeit/Accuracy auf den Testdaten. Sie allein entscheidet wie viel Klausurbonus Sie erhalten.

Genauigkeit auf Test Daten	Bonuspunkte in Klausur
80%	3 Bonupunkte (ein Notenschritt)
75%	2 Bonuspunkte
70%	1 Bonuspunkt

5 Abgabedokumente

Sie müssen in Ilias mindestens drei **separate** Dateien abgeben. Sie sollen **keine** gebündelte *.zip* Datei abgeben.



5.1 Textuelle Erklärung

Das erste Dokument soll eine `.txt` Textdatei sein, in der sie kurz ihr Programm und ihre Vorgehensweise erklären. Sie sollte u.A. Folgendes enthalten

- Welches ML Verfahren haben Sie gewählt.
- Groben Überblick wie Sie trainiert haben

Es muss keine ausführliche Erklärung geschrieben werden. 10 Sätze reichen aus. Diese Datei wird nicht bewertet.

5.2 Prädiktion des Testdatensatzes

Das zweite Dokument enthält Ihre Prädiktionen des Testdatensatzes in `.csv` Format. In Ilias wird Dummy `.csv` bereitgestellt. Diese können Sie inspizieren um die geforderte Formatierung besser zu verstehen. Ihre Datei sollte die gleiche Formatierung wie diese Dummy Datei haben. Ihre Datei muss nach folgender Struktur aufgebaut werden:

- Die erste Zeile muss folgendes enthalten:
  `ImageName,Bicycle,Bridge,Bus,Car,Chimney,Crosswalk,Hydrant,Motorcycle,Other,Palm,Stair,Traffic Light`

  Es dürfen keine Leerzeichen zwischen den Kommas hinzugefügt werden. Die Spalten dieser Zeile dienen als Überschriften aller folgenden Zeilen

- Zeile 2 bis Zeile 8731 enthält die Prädiktionen ihres maschinellen Lernverfahrens für den gesamten Testdatensatz. Als erstes wird immer der Name des Bildes in die Zeile geschrieben, z.B. `3000.png`. Sie dürfen nicht den ganzen Pfad dieser Datei angeben. `C:\\Users\Musterstudierende\ML-Abgabe\3000.png` wäre beispielshaft nicht erlaubt. Nach dem Namen des Bildes wird die Prädiktion des Netzwerkes für alle Klassen mit Kommas separiert geschrieben. Achten Sie darauf, dass die Reihenfolge der Prädiktion und der ersten Zeile mit den Klassen identisch ist (alphabetisch sortiert). Sie sollen die Logits (direkte Ausgabe ihres Verfahrens) oder den Softmax ihrer Logits angeben. Die zweite Zeile welche Logits verwendet könnte folgendermaßen aussehen:

  ```
  03000.png,-0.50063723,-0.6047857,-0.17692138,4.687087,-0.38999337,-0.9977547,-0.45563334,-0.4828421,0.08075903,-0.43307126,-0.43522504,-0.7576522
  ```

  Auch hier sind keine Leerzeichen oder andere Deviationen erlaubt.

  Es ist auch erlaubt die Wahrscheinlichkeitswerte der Klassifizierung anzugeben, also damit die Summe aller Prädiktionen 1 ergibt.

  ```
  03000.png,0.02941782,0.07778217,0.07384536,0.43320315,0.00789948,0.12801697,0.01816502,0.00768259,0.07211915,0.03236570,0.09052128,0.02898125
  ```

  Sie dürfen diese Werte nicht runden. Schreiben Sie immer alle Nachkommawerte. Außerdem müssen kontinuierliche Werte für jede Klasse angegeben werden. Es ist es nicht erlaubt nur die Klasse mit der höchsten Prädiktion anzugeben wie z.B.:

  ```
  03000.png,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0
  ```

  Eine Ausgabe der oberen Art ist nicht erlaubt. Sollten sie z.B. SVM oder Entscheidungsbäume verwenden müssen sie dies möglicherweise manuell aktivieren/deaktivieren. Beispielsweise hat das SVM bei scikit-learn den Parameter `probability` der auf true gesetzt werden müsste. Anschließend müssten die Prädiktionswerte auf den Testdaten mit `predict_proba` anstelle mit `predict` erstellt werden. Analog müsste auch bei einem Entscheidungsbaum die Funktion predict_proba verwendet werden.

  Sollte in ihrer Datei dennoch in sehr seltenen Fällen so eine Zeile auftreten, dann ist es es erlaubt. Dies sollte aber nahezu nie vorkommen.

  Alle Bilder des Testdatensatzes sollen in sortierter Reihenfolge prädiziert werden. D.h. Zeile 2 beginnt mit `3000.png`, Zeile 3 beginnt mit `3001.png`, Zeile 4 beginnt mit `3002.png`,... und Zeile 8731 beginnt mit `11730.png`. Sie dürfen keine zusätzlichen Prädiktionen (von z.B. Trainings oder Validierungsdaten) abgeben. Es darf maximal eine .csv Datei hochgeladen sein. Sie können im Ilias eine bereits hochgeladene .csv Datei durch eine neue .csv Datei ersetzen. Um diese .csv Datei zu erzeugen eignet kann die Prädiktion aller Testdaten in einem Pandas Dataframe gespeichert werden. Anschließend können Sie mithilfer der Funktion to_csv("result.csv", index=False) daraus eine `.csv` Datei erstellen.

5.3 Code

Das dritte (und falls notwendig vierte, fünfte ...) Dokument enthält Ihren Code, den Sie für diese Abgabe erstellt haben. Sollten sie mehrere Dateien für die Abgabe verwendet haben, geben Sie bitte alle verwendeten Dateien ab. Eine explizite Dokumentation des Codes ist für Sie selber hilfreich, wird allerdings nicht von der Übungsleitung vorausgesetzt. Es gibt keine Voraussetzungen wie ihr Code auszusehen hat. Sie können jede Programmiersprache und ML-Framework verwenden. Es ist auch Ihnen überlassen ob sie JuPyter Notebooks `.ipynb` oder z.B. python `.py` Dateien abgeben. Der Code selber wird nicht explizit bewertet. Code aus Internetrecherchen darf verwendet werden, sollte die dazugehörige Lizenz dies erlauben.
Code generiert von Large Language Models wie ChatGPT o.ä. darf ebenfalls verwendet werden. Hier empfehlen wir allerdings sich den Code dann auch von ChatGPT erklären zu lassen um einen Lerneffekt zu erzeugen.
Inzwischen existieren Webseiten und Tools, bei denen ganze Datensätze hochgeladen werden können und diese dann automatisiert das Training vornehmen. Solche Äll-In-One"Tools sind nicht erlaubt. Ihr Code muss selber trainieren, und nicht einfach nur API-Calls vornehmen.
Code von anderen Gruppen darf nicht verwendet werden und kann durch das Plagiatserkennungsprogramm erkannt werden.

6 Webseite

Die Übungsleitung stellt Ihnen die Website `https://kit-ml1.streamlit.app` zur Verfügung. Die Nutzung dieser Webseite ist freiwillig. **Die Webseite ersetzt nicht die Abgabe der Dateien im Ilias.** Diese Website kann allerdings helfen die aktuelle Qualität des trainierten Modells einzuschätzen.

Zuerst sollen die u**** Kürzel aller Teammitglieder auf das vorgesehene Feld in der Webseite eingegeben werden. Die Reihenfolge der u**** Kürzel ist hierbei egal. Mindestens ein Feld muss ausgefüllt sein. Bei 3er Gruppen sollen alle drei Felder ausgefüllt sein. Anschließend ist es möglich Ihre generierte `.csv` Datei mit den Prädiktionen auf den Testdaten hochzuladen. Die Website verarbeitet diese Datei und erfüllt anschließend folgende Funktionalität:

a) Sie visualisiert die abgegebene .csv Datei in einer tabellarischen Ansicht.

b) Sie überprüft ob das Format der .csv die Ansprüche erfüllt

c) Sie berechnet die Genauigkeit Ihrer abgegebenen Prädiktion auf den Testdaten.

- Falls die Genauigkeit sehr niedrig ist (<30%) wird außerdem eine Fehlermeldung ausgegeben. Dies kann Rückschlüsse auf Fehlerquellen bieten.
- Sollte die Genauigkeit über 30% liegen wird ausgegeben, dass Ihr Modell besser als Zufall ist.

d) Sie berechnet die Konfusionsmatrix, den Recall, Precision und F1-Score Wert ihrer `.csv` Datei und visualisiert diese Werte für jede Klasse

- Diese Werte sind nur für ein bessere Überblick der Performance ihres Verfahrens gedacht. Sie fließen nicht in die Bewertung ein.

e) Für jede Klasse wird ein Bild aus dem Testdatensatz genommen. Es wird ermittelt, welche Prädiktion ihr Programm für dieses Bild getätigt hat. Es werden die Logits und die normalisierte Ausgabe für alle Klassen dargestellt. Zusätzlich wird analysiert bei welcher Klasse der höchste Wert prädiziert wurde. Dieser Wert wird normalisiert mit dem Klassennamen zurückgegeben.

f) Anhand der Konkatenation ihrer u**** Kürzel wird ein Pseudonym als Teamname generiert (zufälliges Tier). Dieser Teamname und Ihre Genauigkeit wird in einem Leaderboard gespeichert. Das Leaderboard wird anschließend visualisiert. Dort können Sie sehen, wie gut ihre Abgabe in Relation zu der Übungsleitung und anderen Kommilitonen ist. Anschließend wird Ihnen Ihr aktuelle Platz in diesem Leaderboard mitgeteilt. In die Bewertung geht nur die Genauigkeit Ihrer Abgabe ein. Sie müssen sich keine Sorgen machen, dass z.B. nur die 10 besten Teams den vollen Bonus erhalten.

- Der aktuelle Stand des Leaderboards kann auch hier eingesehen werden `https://kit-ml1-leaderboard.streamlit.app/`

6.0.1 Verwendung der Website und Botting

Die Website soll Ihnen helfen Fehler in Ihrem Code zu finden. Wir wollen vermeiden, dass Sie viel Arbeit und Zeit in die Abgabe stecken aber keine Bonuspunkte erreichen, da z.B. die Ausgabe falsch formatiert war. Über Ilias lässt sich so eine Funktionalität nicht anbieten. Bitte erstellen Sie keine Bots o.Ä. die automatisiert im Stundentakt Ihre .csv Datei auf dieser Website hochlädt. Dies kann zu einer Überlastung der Seite führen und verhindern, dass Ihre Kommilitone die Seite verwenden können.

6.0.2 Datenschutz

Für das Deployment und Hosting der Website wird Streamlit verwendet. Die Datenschutz- und Sicherheitsbestimmungen finden Sie hier `https://streamlit.io/privacy-policy` und `https://streamlit.io/security`. In der Konfigurationsdatei wurde festgelegt, dass keine Nutzerstatistiken gesammelt werden. Streamlit verwendet Google Server und dementsprechend gelten auch deren Datenschutzbestimmungen. Ihre u**** Kürzel werden mit einem modernen Verschlüsselungsverfahren verschlüsselt gespeichert. Den Schlüssel dafür besitzt ausschließlich die Übungsleitung. Sollten Sie dennoch nicht wollen, dass ihr u**** Kürzel auf einer nicht-KIT Webseite verwendet wird, können sie in das dazugehörige Feld eine beliebige 5-stellige Buchstabenkombination eingeben. Damit das Leaderboard ihnen immer den gleichen Teamnamen zuweist, sollten Sie allerdings dann immer die gleiche Buchstabenkombination verwenden. Falls Sie mit diesen Datenschutzregeln nicht einverstanden sind, benutzen Sie bitte nicht die Website sondern ausschließlich das Ilias.

7 Tutorials und Hilfestellungen

Der Programmcode der für diese Abgabe geschrieben werden muss orientiert sich zwar an den Übungen, geht allerdings weiter hinaus als bisher gezeigt. Da es einen Bonus für die Klausur gibt, wird erwartet, das nicht nur bereits gesehenes angewendet wird, sondern auch drüber hinaus recherchiert wird. Die meisten Probleme lassen sich mithilfe von Suchmaschinen und LLM-Verfahren wie ChatGPT lösen. Hier allerdings ein paar URLs die man sich anschauen kann:

- PyTorch
  - Beginner Tutorial v.a. das Kapitel über neuronale Netze und CNNs
  - Verwendung von Optimierern und dynamischen Lernraten findet sich hier
  - Speichern und laden eines Modells
  - Alles über unterschiedliche Layer, Aktivierungsfunktionen etc. findet sich hier
  - Bereits vorhandene neuronale Netze finden Sie hier
  - Tutorial über Datasets und Dataloader und volle Dokumentation hier
- SkLearn (falls Sie kein neuronales Netz verwenden wollen)
  - Einen großen Überblick über alle überwachten Verfahren findet sich hier
- Google Colab Sollten Sie ein neuronales Netz verwenden, dann ist ein Training auf einer GPU sehr hilfreich. Sollte man keine GPU in seinem privaten Laptop/PC besitzen kann es sinnvoll sein, einen kostenlosen Cloud anbieter zu verwenden. Vergleich unterschiedlicher Anbieter. Die Übungsleitung hat von diesen nur Google Colab verwendet und kann deswegen nur dafür Tipps geben.
  - Tutorial wie man Dateien in Google Colab hochlädt und wieder herunterlädt.
    * ```
      from google.colab import files
      uploaded = files.upload()
      ```
      Wenn dieser Code verwendet wird, muss nach jedem Neustart des Notebooks, die Dateien neu hochgeladen werden. Dies kann relativ lange dauern, da die zwei `.zip` Dateien 400MB groß sind.
    * Es bietet sich an die zwei .zip Dateien in Google Drive hochzuladen. Noch besser ist die Dateien auf dem Laptop/PC zu entpacken und die Ordner in Google Drive hochzuladen. Dann müssen die .zip Dateien nicht in Drive entpackt werden. Anschließend kann mit
      ```
      from google.colab import drive
      drive.mount('/content/drive')
      ```
      immer auf diese Dateien zugegriffen werden.
  - Der Befehl `!unzip Pfad` entpackt `.zip` Dateien.
      ```