

Künstliche Intelligenz im Straßenverkehr

Künstliche Intelligenz ist weiterverbreitet als viele glauben, selbst im Straßenverkehr. Roboterautos mit eigener Persönlichkeit gibt es bislang nur im Kino, aber schon heute stecken in vielen vertrauten Anwendungen intelligente Algorithmen. Und die Automatisierung der Fahraufgabe steht bevor.

Definitionen / Abgrenzungen / Anwendungsfelder

Trotz vieler Versuche gibt es bis heute keine allgemein akzeptierte Definition des Begriffs Künstliche Intelligenz. [...] Was wir gestern noch als intelligent bezeichnet haben, wandert in Produkte und Dienste, wird unsichtbar und damit zur Selbstverständlichkeit. Als Künstliche Intelligenz bleibt wiederum nur das, was in der Zukunft liegt. Künstliche Intelligenz ist ein bewegliches Ziel¹.

Grundsätzlich wird zwischen schwacher (englisch: weak oder narrow) und starker (englisch: strong) Künstlicher Intelligenz (KI) unterschieden. Alle aktuell bekannten und genutzten Programmierungen sind Ausprägungen der schwachen KI. Solche Anwendungen sind auf die Lösung abgegrenzter Aufgaben nach vorgegebenen Methoden ausgerichtet.

Starke KI hätte die gleichen oder sogar höhere intellektuelle Fähigkeiten als Menschen und könnte diese flexibel zum Erreichen übergeordneter Ziele anwenden. Eher philosophisch wird heute diskutiert, ob starke KI ein eigenes Bewusstsein entwickeln könnte (oder müsste).

Verkürzt kann man sagen:

- Schwache KI unterstützt den Menschen bei einer speziellen Aufgabe.
- Starke KI könnte den Menschen potenziell in Gänze ersetzen.

Dies schließt jedoch keinesfalls aus, dass heutige, schwache KI Anwendungen die intellektuelle Leistungsfähigkeit von Menschen in speziellen Aufgabenstellungen übertreffen, genauso wie motorisierte Maschinen die Körperkräfte des Menschen bei weitem übertreffen.

Bei allen Anwendungen der schwachen KI handelt es sich um regelbasierte Systeme (Algorithmen in Form von programmierter Software). KI-Entwickler passen Methoden und Werkzeuge an

¹ Digitalisierung gestalten mit dem Periodensystem der Künstlichen Intelligenz; Bitkom 2018

eine konkrete Aufgabenstellung und Datenstruktur an. Der Computer kann den Lösungsalgorithmus nicht selbständig auf andere Aufgabenstellungen übertragen und anwenden.

- Als einfachste Form ermöglicht ein Expertensystem mit explizit formulierter Regelbasis (symbolische Wissensrepräsentation) dem Computer, menschliche Intelligenz nachzuahmen.
- Beim maschinellen Lernen werden Muster und Gesetzmäßigkeiten in (historischen) Lerndaten erkannt und statistische Modelle (z. B. Neuronale Netze) geschätzt, die sich auf neue Daten anwenden lassen. (nicht-symbolische Wissensrepräsentation)
- Neuronale Netze können einmalig berechnet (geschätzt) werden oder kontinuierlich an neue Daten angepasst werden. Im zweiten Fall lernt die KI aus ihren Erfahrungen oder passt sich an neue Sachverhalte an (inkrementelles Lernen).

Neuronale Netze lassen sich oftmals leichter programmieren als Expertensysteme mit sehr komplexen, expliziten Regelbasen. Allerdings lassen sich ihre Ergebnisse i. d. R. nicht mehr kausal erklären oder überprüfen.

KI wird heute produktiv vor allem in folgenden Aufgabenbereichen eingesetzt.

- Audio-Analyse (Szenen, Sprache, Musik)
- Bild-Analyse (Handschriften, Gesichter, Verkehrszeichen)
- Allg. Mustererkennung in Daten
- Vorhersage von Bewegungen, Mustern
- Netzwerk-Analyse; Graphentheorie
- Klassifizieren, Kategorisieren von Daten, Clusteranalyse
- Text-Verständnis und -Generierung
- Robotik: Manipulation von physischen Objekten, Bewegungssteuerung, Mobilität

Fachinformation Künstliche Intelligenz im Straßenverkehr

Maschinelles Lernen

Ein wichtiger Teilaspekt der KI ist maschinelles Lernen. Dazu analysiert ein Computerprogramm Beispiele und versucht mit Hilfe selbstlernender Algorithmen, in den exemplarischen Daten die zugrunde liegenden Muster und Gesetzmäßigkeiten zu erkennen (Inferenz).

Maschinelles Lernen entspricht am ehesten der Nachahmung bzw. dem Lernen am Modell, ohne dass der Computer ein kausales Verständnis für die erkannten Zusammenhänge entwickelt oder sein Wissen transferieren könnte. KI ahmt hier Erkenntnis nach.

Es gibt eine ganze Reihe unterschiedlicher Algorithmen für das künstliche Lernen. Große Bedeutung haben gegenwärtig künstliche neuronale Netze, mit der besonders komplexen Implementierung Deep Learning (tiefe neuronale Netze). Man kann maschinelles Lernen zum einen in überwachte und nicht überwachte Verfahren unterscheiden. Im ersten Fall werden dem Algorithmus zahlreiche (Daten-)Beispiele mit den zugehörigen richtigen Antworten vorgelegt. Die komplexen Eingangsdaten werden dann so strukturiert und gewichtet, dass möglichst alle Beispiele richtig erklärt werden können. Der Algorithmus kann anschließend auf neue, unbekannte Daten angewendet werden.

Bei nicht überwachtem Lernen gibt es keine „richtigen“ Antworten. Der Algorithmus versucht Muster in einem System zu erkennen und fortzusetzen.

Zum anderen wird zwischen Batch-Training (alle Übungsdaten liegen offline dauerhaft vor) und inkrementellem Lernen unterschieden. Im letzten Fall (häufig online) lernt der Algorithmus kontinuierlich und passt das neuronale Netz zeitlich veretzt an.

Vielfach bilden die Lerndaten (Beispiele) historische menschliche Entscheidungen ab. Typischerweise werden alle Verzerrungen und Vorurteile, die implizit in diese Lerndaten eingeflossen sind, in die trainierte KI übernommen und treten dort umso offensichtlicher zu Tage, so dass dem Algorithmus ein unerwünschtes Eigenleben vorgeworfen wird. Sofern die Regelbasis also nicht explizit formuliert werden kann, muss unbedingt sichergestellt werden, dass in den Lerndaten keine unerwünschten Verzerrungen enthalten sind.

Gefahren / Risikomanagement

KI unterstützt Menschen bei der Bearbeitung von häufigen, gleichartigen, durch Regeln, Wissen und Erfahrung zu bewältigenden Aufgabenstellungen. Diese sind oftmals so komplex, dass ein systematischer Fehler in der KI nicht leicht erkannt werden kann. Insbesondere bei KI-Anwendungen, die inkrementell online lernen und ihre Entscheidungen sukzessive anpassen, besteht die Befürchtung, dass das Verhalten der KI sich unerwünschte Richtung verändert. Solche Prozesse konnten bei Chat-Robotern bereits nachgewiesen werden.

Bei der Beurteilung der Risiken sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Bewertet oder klassifiziert die KI Menschen oder werden ausschließlich Sachdaten bearbeitet?
- Gibt es für Betroffene die Möglichkeit, eine zweite Meinung einzuholen oder ist die Bewertung letztinstanzlich?
- Unterstützt die KI eine menschliche Entscheidung oder wirkt sie unmittelbar?
- Wie groß ist der Schaden, der durch eine Fehlentscheidung der KI verursacht wird?

Je nach der Risikobewertung sollten geeignete und wirksame Maßnahmen ergriffen werden:

- Stichprobenhafte Überprüfung der Entscheidungen
- Geprüfte Regelbasis der KI einfrieren, nur qualitätsgeprüfte Aktualisierungen zulassen
- Prüfung / Freigabe aller Entscheidungen durch einen qualifizierten Menschen (Vier-Augen-Prinzip)
- Prozesse vorsehen, mit denen Betroffene die Entscheidung einer KI durch einen Menschen überprüfen lassen können
- Wettbewerb / alternative Anbieter für eine KI-basierte Dienstleistung fördern, alternative Verfahren parallel nutzen
- Auf den Einsatz von KI verzichten

Die Europäische Kommission hat Ethik Richtlinien² für Entwicklung, Einsatz und Anwendung von KI herausgegeben. Sie unterstützen Entwickler und Unternehmen dabei, verantwortungsvoll mit den Möglichkeiten der KI umzugehen.

² Europäische Kommission (Hrsg.): High Level Expert Group on Artificial Intelligence: Ethics Guidelines for Trustworthy AI; Brüssel; 2019

Fachinformation Künstliche Intelligenz im Straßenverkehr

Kfz-Produktion

Im Rahmen der industriellen Herstellung von Kraftfahrzeugen wird vielfach KI eingesetzt. Wichtige Anwendungsfelder sind die Steuerung von Produktionsrobotern, die prädiktive Wartung von Produktionsmaschinen, die Qualitätskontrolle von Arbeitsergebnissen.

Während Roboter der ersten Generation überwiegend berührungslos arbeiteten (lackieren, schweißen), haben neue Maschinen genügend „Fingerspitzengefühl“ für die Arbeit am Werkstück (schrauben, fügen, nieten, kleben).

Roboter können sich weitgehend selbständig an Modellvarianten anpassen, lernen selbständig den optimalen Bewegungsablauf und Kräfteinsatz für vorgegebene Aufgaben. Roboter können im Team mit Menschen zusammenarbeiten.

Neben stationären Fertigungsrobotern kommen vielfach fahrerlose Flurförderfahrzeuge zum Einsatz, die den Materialnachschub gewährleisten. Nicht nur Roboter, alle Arten von Produktionsmaschinen liefern heute Sensordaten, mit denen der Verschleiß und abnorme Betriebszustände fernüberwacht werden können. KI Algorithmen können den Wartungsbedarf vorhersehen, Ausfälle vermeiden, Stillstandzeiten minimieren.

In der Qualitätssicherung werden Werkstücke häufig zerstörungsfrei optisch, mit Infrarot-, Ultraschall- oder Röntgengeräten gescannt. KI-basierte Bildauswertung kann diese Scans weit schneller und zuverlässiger auswerten als Menschen oder zumindest eine Vorauswahl auffälliger Artefakte treffen.

Verkehrsprognose, -steuerung, Routing, Logistik, Straßenbetrieb

KI eignet sich sehr gut, um Muster in großen Datenmengen zu erkennen und – auch ohne kausales Verständnis – kurzfristige Prognosen zur Fortsetzung der Muster zu liefern. Mit Hilfe von Expertenwissen können diese Prognosen auch auf längere Vorhersagezeiträume ausgedehnt werden. KI kann aus einer begrenzten Anzahl Messpunkten die aktuelle Verkehrslage rekonstruieren und prognostizieren. Dazu werden kurz- und langfristige Vorhersagen aus historischen Messdaten (Tages- und Wochenganglinien der Verkehrsstärke, Witterung) mit Expertenwissen (Ferien-/Feiertage, Jahreszeiten, Veranstaltungen, Streckensperrungen, Baustellen) kombiniert.

Solche Verkehrsmodelle werden heute bereits für die Verkehrsinformation und dynamische Routenplanung (Navigation) von Einzelfahrzeugen genutzt. Die Suche nach der optimalen Route in einem Straßennetz ist eine gut erforschte Aufgabenstellung der Graphentheorie. In Verbindung mit dynamischer Verkehrsprognose können vielfältige Navigations- und Logistikanwendungen entwickelt werden, z. B. die Optimierung von Lieferketten, optimale Pausenplanung, Just-In-Time Lieferung.

Grundsätzlich bieten dynamische Verkehrsprognosen auch die Grundlage für aktives Verkehrsmanagement. Leistungsfähige KI hat in diesem Bereich (Lichtsignalanlagen, Verkehrsbeeinflussungsanlagen) jedoch noch wenig Einzug gefunden; bislang werden verkehrstechnische Anlagen mit relativ einfachen, schwellwertbasierten Algorithmen und (menschlichem) Expertenwissen gesteuert. Grundsätzlich wird hier jedoch großes Potenzial zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Verkehrssystemen gesehen; auch in der Einsatz- und Umlaufplanung des öffentlichen Verkehrs und insbesondere im Störfallmanagement können KI-Anwendungen den Disponenten wirkungsvoll unterstützen. Zukunftsmusik ist bislang die koordinierte Beeinflussung von vielen Einzelfahrzeugen im Straßenverkehr (Geschwindigkeits- und Routenvorgaben), um von einer individuellen zu einer Systemoptimierung zu kommen. Ähnlich wie in der industriellen Fertigung gibt es beim Straßenbetrieb erste Ansätze, die Straßeninfrastruktur (z. B. Brücken) intensiv durch Sensoren zu überwachen, um frühzeitig auf Verschleiß und Schäden reagieren zu können.

Sprach- und Gestensteuerung

Ganz unmittelbar haben Nutzer moderner Autos schon heute mit KI zu tun. Spracheingabesysteme nutzen umfangreich KI Algorithmen, um menschliche Sprache von Hintergrundgeräuschen zu separieren, Schlüsselwörter und Sprache allgemein zu verstehen und zu interpretieren. Dabei können sie sich an die Stimme und Ausdrucksweisen des jeweiligen Fahrers „gewöhnen“.

Noch nicht verbreitet, aber bereits auf dem Markt ist die Gestensteuerung, um Funktionen des Medien- und Infotainmentsystems berührungslos mit Handbewegungen zu bedienen. Die Auswertung der Sensor- und Videodaten dafür wäre ohne KI nicht möglich.

Fachinformation Künstliche Intelligenz im Straßenverkehr

Automatisiertes Fahren

Besonders hohe Erwartungen an KI bestehen im Zusammenhang mit dem automatisierten oder autonomen Fahren. Das ist naheliegend, weil Autofahren als anspruchsvolle, kognitive Leistung erlebt wird, die offensichtlich nur von einer "intelligenten" Maschine erbracht werden kann. Vielfach besteht die Befürchtung, dass intelligente Autos auch tiefgreifende ethische Fragen autonom entscheiden müssen.

Ein wichtiger Anwendungsbereich für KI im Auto ist die Auswertung von Sensoren. Fahrerassistenzsysteme, automatisierte oder autonome Fahrfunktion müssen sich jederzeit ein Bild von ihrer Umwelt machen. Kameras und andere bildgebende Sensoren (Radar, Lidar, Ultraschall, etc.) liefern zunächst Pixel oder Punktwolken. Musteranalyse, Mustererkennung und Mustervorhersage sind wesentliche Anwendungsgebiete für KI. In den Sensordaten werden Objekte identifiziert, klassifiziert (z. B. Auto, Radfahrer, Fußgänger, Baum, Haus) und prognostiziert, wo das Objekt im nächsten Augenblick erscheinen sollte. Dann erfolgt die Zuordnung zu den Objekten im nächsten Bild, so dass die Bewegung dieser Objekte auch über Bildsequenzen verfolgt und berechnet werden kann.

In der nächsten Aggregationsstufe werden die Ergebnisse unterschiedlicher, redundanter Sensoren fusioniert, d. h. ein Objekt Auto aus dem Kamerabild wird einem Objekt Auto aus dem Radarimage zugeordnet.

Wieder auf der nächsten Ebene geht es um die Klassifizierung von Verkehrssituationen und die Intentionserkennung. Ggf. fließen hier auch Informationen aus einer digitalen Karte ein, in der die Lage von Querstraßen, Signalanlagen, Gebäuden, etc. abgelegt ist. Aus der Positionierung innerhalb der Fahrspur lässt sich der bevorstehende Spurwechsel oder das Abbiegemanöver eines vorausfahrenden Fahrzeugs vorhersehen. Bewegung und Blickrichtung eines Fußgängers verraten, ob er gleich die Straße queren wird.

Neuronale Netze für visuelle KI werden i. d. R. offline mit kontrollierten Datensätzen (überwachtes Lernen) trainiert. Für die Verhaltensprädiktion wäre grundsätzlich auch inkrementelles Lernen möglich, da das autonome Auto die Qualität seiner Prognose unmittelbar prüfen und aus dem Ergebnis lernen könnte. Allerdings besteht das Risiko einer ungewollten Beeinflussung des beobachteten / prognostizierten Verhaltens durch

das Ego-Fahrzeug (z.B. durch sehr zögerliches oder aggressives Spurwechseln).

Für die Steuerung eines Autos auf der Manöverebene sind selbstlernende, neuronale Netze weniger geeignet. Die Verkehrsregeln ließen sich wohl grundsätzlich aus dem Verhalten menschlicher Autofahrer lernen. Zwangsläufig würde auch verbreitetes Fehlverhalten (Geschwindigkeitsverstöße, Überfahren von Spurmarkierungen, etc.) trainiert, ohne die daraus resultierenden, rechtlichen Konsequenzen gelöst zu haben. Da der Straßenverkehr stark reglementiert ist, die Verkehrsregeln explizit vorliegen und Anspruch auf Vollständigkeit haben, ist es sinnvoller, eine überprüfbare, symbolische Regelbasis (Expertensystem) zu implementieren. Grundlagen für solche Regeln sind z. B.:

- Implizite Setzungen der Straßenverkehrsordnung, z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit für Fahrzeugtypen und Straßenkategorien, Rechtsfahrgebot, Vorfahrtregelung an Rechts-vor-Links Kreuzungen.
- Durch Verkehrszeichen explizit angeordnete Ge- und Verbote, z. B. Streckenverbote, positive und negative Vorfahrtbeschilderung, Lichtzeichen, Fahrbahnmarkierungen.
- Angewandte Naturgesetze, z.B. Haftreibung beim Beschleunigen / Bremsen, Querschleunigung bei der Kurvenfahrt.
- Topologie des Straßennetzes und weitere, in einer Kartenbasis vorgehaltene Attribute, z. B. Durchfahrtbreiten, Gewichts- oder Längenbeschränkungen, Fahrverbote.
- Dynamische Verkehrsinformationen zur Verkehrslage, Baustellen, Witterung, etc.
- Und nicht zuletzt klare Vorgaben, wie nicht-regelkonformem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer begegnet werden soll.

Die Entscheidungen eines Expertensystems sind – auch wenn sie sehr komplex werden können – grundsätzlich besser reproduzierbar und nachvollziehbar, als die Entscheidung eines neuronalen Netzes. Jedoch wird auch ein Expertensystem unplausible Entscheidungen treffen, wenn die Eingangsdaten schlecht sind, also z.B. eine Situation falsch erkannt / interpretiert wird.

Die automatisierte Steuerung eines Autos stellt große Herausforderungen an Zulassungsverfahren und Prüfkriterien. KI als Software Code lässt sich durch einen Prüfer kaum nachvollziehen. Vielmehr muss das Fahrzeug als Gesamtsystem aus Sensorik, Aktorik und Steuerungsalgorithmen

Fachinformation Künstliche Intelligenz im Straßenverkehr

geprüft und zugelassen werden. Neben einigen standardisierten Fahrscenarien auf einem Testgelände werden vor allem zahlreiche Simulationszenarien (als Software in the Loop) zu bewältigen sein. Den letzten Ausschlag wird der allgemeine Eindruck erfahrener Prüfer im realen Straßenverkehr geben. Konkrete Prüfverfahren werden in den Standardisierungsgremien noch verhandelt.

Dilemmasituationen

Im Zusammenhang mit der automatisierten Steuerung von Kraftfahrzeugen werden häufig Dilemmasituationen diskutiert, in denen das Fahrzeug sich zwischen mehreren Handlungsalternativen mit jeweils negativen Konsequenzen entscheiden müsse. Derartige Konfliktsituationen sind außerordentlich seltene Ereignisse – passendes Verhalten lässt sich nicht trainieren oder „maschinell lernen“, weder von Menschen noch von Maschinen. Ein Steuerungsalgorithmus – wie auch ein menschlicher Fahrer – muss solche Situationen nach vorgegebenen Regeln der Fahrzeugführung bewältigen.

In einer Konfliktsituation muss eine automatisierte Fahrfunktion alle Möglichkeiten ausschöpfen, um eine Kollision zu vermeiden, bzw. die Kollisionsenergie reduzieren. Auf keinen Fall jedoch dürfen am Konflikt unbeteiligte Dritte gefährdet werden. Weder Menschen noch Maschinen mit KI können auf absehbare Zeit die Folgen einer Kollision verlässlich vorhersagen. Dies schließt in aller Regel Ausweichen vor dem Primärziel und eine dadurch bewusst oder billigend in Kauf genommene Kollision mit alternativen Zielen, aus. Im Gegensatz zu vielen anderen Anwendungsfeldern dient KI in der Robotik, zu der automatisiertes Fahren im weitesten Sinn gehört, nicht der Unterstützung menschlicher Entscheidungen, sondern beeinflusst unmittelbar das Verhalten des Roboters bzw. Fahrzeugs. Aufgrund des hohen Schadenspotenzials automatisierter Fahrzeuge und der Unumkehrbarkeit von Unfällen haben die Nachvollziehbarkeit von Entscheidungen

und die klare Zuordnung der Verantwortung höchste Priorität.

Nicht erklärbare, durch maschinelles Lernen erzeugte Algorithmen eignen sich deshalb eher nicht für die Steuerung in Konfliktsituationen. Wenn es dennoch zu unerwartetem „autonomen“ Fahrverhalten kommt, dürfte dies immer auf die unvollständige und fehlerbehaftete Erfassung und Interpretation der Verkehrssituation zurückzuführen sein und nicht auf eine KI-basierte Abwägung zwischen unterschiedlichen Schadensverläufen in einer Dilemmasituation.

Zusammenfassung

KI durchdringt mit der Digitalisierung und der Verfügbarkeit großer Datenmengen immer mehr Lebensbereiche. Dabei verschiebt sich die wahrgenommene Grenze zwischen normaler und intelligenter Technik kontinuierlich. Spezielle Anwendungsbereiche im Straßenverkehr betreffen die Verkehrslagerekonstruktion und -prognose, die Verkehrssteuerung und zunehmend Assistenzsysteme in Kraftfahrzeugen. Andere Anwendungen wie Sprach- und Gestensteuerungen, prädiktive Wartung oder die Steuerung von Produktionsrobotern sind allgemeiner Natur und können auch im Zusammenhang mit Straßenfahrzeugen eingesetzt werden. Neuronale Netze und tiefes künstliches Lernen werden häufig genutzt, um große Datenströme, wie sie z. B. von Sensoren geliefert werden, zu interpretieren. Daten werden ggf. mehrstufig zu hochwertigen Informationen konzentriert. Die automatisierte Steuerung eines Kraftfahrzeugs auf der obersten Ebene aggregierter Informationen sollte auf Basis von explizit formulierter Regelbasen (Expertensystem) erfolgen. Aufgrund der Unumkehrbarkeit der Entscheidungen und der hohen Schadenspotenziale muss das Verhalten eines Fahrzeugs und die Verantwortung für die Programmierung nachvollziehbar bleiben.

Herausgeber
ADAC e. V.
Ressort Verkehr
Hansastraße 19
80686 München