

[PROJEKT.EINBLICK]

Philipp Román

Mit Weitwinkel-Wärmekameras und KI zur individuellen Wohlfühltemperatur im Fahrzeug



Im Rahmen des Projekts C2CBridge wurde ein KI-gestütztes 360°-Infrarotkamarasystem entwickelt, das die Temperaturverteilung im Fahrzeug misst, mithilfe von künstlicher Intelligenz ausgewertet, und die Fahrzeugklimatisierung individuell optimiert.

→ Kontakt

Philipp Román

KIT-Institut für Fahrzeugsystemtechnik (FAST),
Institutsteil Fahrzeugtechnik

Rintheimer Querallee 2
Gebäude 70.04
76131 Karlsruhe

Tel: +49 721 608 45363

Mail: philipp.roman@kit.edu

Web: www.fast.kit.edu



Die thermische Behaglichkeit oder »Wohlfühltemperatur« von Fahrgästen in Fahrzeugkabinen ist ein komplexes Zusammenspiel verschiedener psychologischer und physiologischer Faktoren.

Herkömmliche Klimaanlage passen sich oft nicht individuell an die Bedürfnisse der Insassen an.

Um dieses Problem zu lösen, haben wir ein innovatives System entwickelt, das mithilfe eines 360°-Infrarot-Kamarasystems die Körpertemperatur der Passagiere in Echtzeit erfasst. Die 360°-Kamera wird eingesetzt, um alle Passagiere unabhängig von ihrer Sitzposition und

Ausrichtung im Fahrzeug zu erfassen, da herkömmliche nach vorn gerichtete Sensoren oft nur begrenzte Bereiche abdecken. Besonders in autonomen oder geteilten Fahrzeugen mit variabler Sitzbelegung ist es entscheidend, dass keine toten Winkel entstehen.

Die Kameras erfassen kontinuierlich die Temperaturverteilung im gesamten Innenraum und ermöglichen so eine präzise Überwachung der individuellen Wärmebedürfnisse.

Die Bilddaten werden durch spezielle Algorithmen verarbeitet, die mithilfe neuronaler Netze und lernender Systeme Muster im thermischen Zustand der Passagiere erkennen. Zwar kann eine Person mit dicker Jacke, Mütze oder langen Haaren von hinten schwerer analysiert werden, doch das System berücksichtigt nicht nur eine einzelne Körperregion, sondern kombiniert Informationen aus Gesicht, Nacken, Händen und Oberkörper.

Abb. 1: Das Bild der thermischen Infrarotkameras deckt 360° des Fahrzeuginnenraums mit präzisen Temperaturmessungen ab. Die Temperatur steigt von dunkelblau über grün zu weiß an.

→ Warum Langwellen-Infrarot?

Ein entscheidender Vorteil der Langwellen-Infrarot-Technologie ist die Möglichkeit der berührungslosen Temperaturmessung. Dies bedeutet, dass die Körpertemperatur der Fahrgäste kontinuierlich und ohne jeglichen physischen Kontakt erfasst werden kann. Dadurch entfällt die Notwendigkeit von tragbaren Sensoren oder anderen störenden Messgeräten, die das Komfortgefühl der Passagiere beeinträchtigen könnten. Diese nicht-invasive Methode gewährleistet zudem eine hygienische und wartungsarme Lösung, die sich besonders für den Einsatz in gemeinsam genutzten Fahrzeugen oder öffentlichen Verkehrsmitteln eignet.

Praxistests

Für die Datenerfassung wurde das System in einem Mercedes Vito Neunsitzer getestet. Hierbei wurden sowohl statische als auch dynamische Szenarien untersucht – also Situationen, in denen Passagiere entweder ruhig sitzen oder ihre Position verändern, indem sie ein- und aussteigen.

Während der Tests bewerteten die Teilnehmenden ihren thermischen Komfort auf einer Skala von »sehr kalt« bis »sehr warm« sowie ihren allgemeinen Wohlfühlfaktor. Diese subjektiven Einschätzungen dienten als Grundlage für die Weiterentwicklung der Algorithmen.

KI-basierte Sensorauswertung

Nachdem die Rohdaten erfasst wurden, durchliefen sie eine umfangreiche Verarbeitung. Um eine höhere Bildauflösung und eine genauere Analyse zu ermöglichen, wurden Rauschunterdrückungstechniken angewandt und die Bilder auf eine höhere Pixelanzahl skaliert.

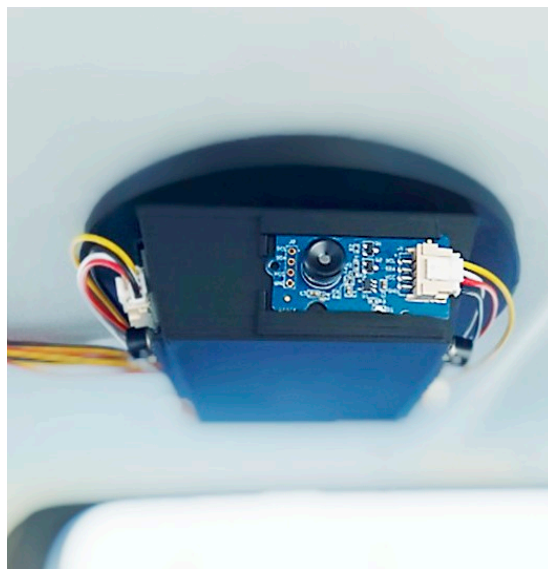


Abb. 2: Das prototypische Messsystem ist im Fahrzeughimmel montiert um alle Fahrzeuginsassen erfassen zu können.

Das System bewältigt die Herausforderung, Personen mit unterschiedlicher Kleidung und aus variierenden Blickwinkeln zu analysieren, indem es gezielt wärmerrelevante Bereiche wie Gesicht, Oberkörper und Sitzflächen isoliert. Mithilfe eines Echtzeit-Objekterkennungsalgorithmus werden diese Regionen aus dem Gesamtbild segmentiert und durch Normierung an externe Einflüsse wie Sonneneinstrahlung oder reflektierende Oberflächen angepasst. Ein neuronales Netz vom Typ ResNet-50 extrahiert wesentliche Temperaturmuster und erkennt Hotspots sowie Temperaturgradienten, während ein LSTM-Netzwerk zeitliche Veränderungen analysiert, etwa wenn sich eine Person bewegt oder sich ihr Wärmeempfinden über die Zeit verändert.

Das System wurde mit subjektiven Rückmeldungen von Testpersonen trainiert, um Wärmemuster mit realem Empfinden zu verknüpfen. Erste Tests zeig-

gen, dass die Methode Wärmewahrnehmungen klassifizieren kann, auch bei wechselnden Sitzpositionen und dynamischen Umweltbedingungen. Weitere Untersuchungen mit größeren Personengruppen und verschiedenen Klimaszenarien sind geplant, um die Robustheit und Genauigkeit weiter zu optimieren.

Ein zentraler Aspekt dieses Projekts ist die Verknüpfung mit dem Heizungs-, Lüftungs- und Klimasystem des Fahrzeugs. Das System soll in Echtzeit Parameter wie Luftstrom und Temperatur den individuellen Bedürfnissen der Passagiere anpassen.



Das System soll in Echtzeit Parameter wie Luftstrom und Temperatur den individuellen Bedürfnissen der Passagiere anpassen.«

Dies soll nicht nur zu einem besseren Wohlbefinden der Insassen führen, sondern auch zu einer höheren Energieeffizienz, da nur dort geheizt oder gekühlt wird, wo es wirklich notwendig ist.

Über den Anwendungsbereich in Fahrzeugen hinaus könnte diese Technologie auch für andere Bereiche interessant sein, etwa für öffentliche Verkehrsmittel oder smarte Gebäudeklimatisierungssysteme.

Ein weiterer potenzieller Nutzen liegt in der Bekämpfung von Reisekrankheit, da Temperaturschwankungen oft ein Faktor für Unwohlsein in automatisierten Fahrzeugen sind.

Wie geht es weiter?

Obwohl die bisherigen Ergebnisse vielversprechend sind, gibt es noch einiges zu tun. Weitere Tests unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und in unterschiedlichen Fahrzeugtypen sind erforderlich, um das System weiter zu verbessern.

Zudem könnten modernere maschinelle Lernverfahren die Vorhersagegenauigkeit weiter steigern und eine noch individuellere Anpassung ermöglichen.

Die Forschung wird im Rahmen des C2CBridge-Projekts des Karlsruher Instituts für Technologie durchgeführt und vom Bundesministerium für Verkehr gefördert. ■

→ Infrarot im automatisierten Fahren

Licht aus dem infraroten Spektrum spielt im automatisierten Fahren unterschiedliche Rollen. Verbindend ist, dass es langwelliger (aber nicht per se uninteressanter) als rotes Licht ist, und so vom menschlichen Auge nicht mehr gesehen werden kann: Es liegt außerhalb des sichtbaren Spektrums von etwa 380 nm (violett) bis 750 nm (rot). Wir geben einen Überblick über einige wichtige Anwendungsfälle.

Nahes Infrarot (NIR) bezeichnet Licht im Wellenlängenbereich von etwa 750–1400 nm. Es hat im Wesentlichen dieselben Eigenschaften wie sichtbares Licht, nur, dass das menschliche Auge es nicht wahrnehmen kann. Damit wird NIR insbesondere eingesetzt, wo aktive Beleuchtung benötigt wird, die für Menschen nicht störend sein soll – unter anderem für Kamerafunktionen im Innenraum.

Ein wichtiger Anwendungsbereich liegt zudem in Laserscannern oder LiDAR (Light Detection and Ranging), bei dem Laserstrahlen ausgesendet werden, und anhand ihrer Laufzeit bis zum Empfang eines Echos die Distanz zu einem Ziel errechnet werden kann. LiDAR gilt als Schlüsseltechnologie für automatisiertes Fahren, und ermöglicht es, in Reichweiten von 200 m und mehr noch zentimetergenau Objekte zu erkennen. LiDAR-Lichtquellen liegen typischerweise im Bereich von 800 nm bis 1600 nm, und damit an der Schwelle zwischen NIR und SWIR (s.u.).

LiDAR-Systeme und andere Laserlichtquellen im NIR-Bereich können für das menschliche Auge bei starker Bestrahlung schädlich sein, da NIR-Licht das Auge durchdringen und die Netzhaut schädigen kann. Riskant ist hier gerade seine Unsichtbarkeit, denn diese vermeidet Blinzeln und andere Schutzreflexe bei Blendung. Daher dürfen LiDAR-Systeme im NIR-Bereich nur mit relativ niedrigen Intensitäten arbeiten.

Kurzwelliges Infrarot (SWIR, short-wavelength infrared) schließt an NIR an. Wesentlich ist, dass ab etwa 1500 nm das menschliche Auge wesentlich undurchlässiger wird, und somit Augenrisiken durch SWIR-Laser erheblich reduziert sind. Das ermöglicht höhere Intensitäten und im Allgemeinen bessere Reichweiten für LiDAR-Systeme, die ab 1600 nm arbeiten. Gleichzeitig ist die Empfangssensorik in der Regel aufwendiger und teurer.

Langwelliges oder »thermisches« Infrarot (LWIR) liegt bei 8 000–15 000 nm (bzw. 8–15 µm), und wird insbesondere für Wärmebildkameras genutzt. In diesem Bereich ist die Wärmestrahlung des menschlichen Körpers empfangbar, womit unterschiedliche Anwendungen realisierbar sind, von berührungslosen Temperaturmessungen bis hin zu Nachtsicht. Kameras, die im LWIR-Bereich empfindlich sind, sind aufwendig zu produzieren, und weisen daher oft nur eine deutlich geringere Auflösung auf.

Allgemein gilt, dass langwelligeres Licht immer unempfindlicher gegen Störungen wie Regen und Nebel wird. Jenseits des Infrarotbereichs schließen nach Mikrowellen noch Radiowellen an, die im automatisierten Fahren für Radar (Radio Detection and Ranging) mit Wellenlängen im Zentimeterbereich eingesetzt werden. Aufgrund seiner hohen Wellenlänge kann Radar auch starken Regen sehr gut durchdringen.