



Die Büchse der Pandora für Bilddaten

Digitale synthetische Fehlerbibliothek für die optische Inspektion mit KI

Im Bereich der künstlichen Intelligenz (KI) ist der Hunger nach Daten unersättlich. Daten aus der realen Welt sind jedoch nur begrenzt verfügbar, was Forscher und Praktiker veranlasst, synthetische Daten als Lösung für KI-Modelle zu untersuchen. Im Projekt eQuality entwickelt das Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM eine digitale Fehlerbibliothek, die synthetische Bilddaten für die optische Inspektion mit KI bereithält. Gleichzeitig wird der gesamte Prüfprozess virtuell vorgeplant, bevor die eigentliche Inspektion konstruiert wird.

Markus Rauhut

Die Herstellung von Produkten erfordert eine zuverlässige und effiziente Erkennung selbst der kleinsten Defekte während der Produktion, sei es von Bauteilen für Fahrzeuge, Haushaltsgegenstände oder in der Luftfahrt bis

hin zur Medizintechnik. Typische Prüfaufgaben sind die Detektion von Oberflächenfehlern und Abweichungen von der Sollgeometrie. Um diesem Bedarf gerecht zu werden, sind flexible Inspektionslösungen erforderlich, die auch komplexe Produkte

(bzgl. Geometrie und Textur) prüfen können. Automatisierte Inspektionssysteme stellen eine Lösung dar, obwohl ihre Entwicklung kosten- und zeitintensiv ist und ein hohes Maß an Fachwissen erfordert. Sie sind allerdings oft nicht universell einsetz-

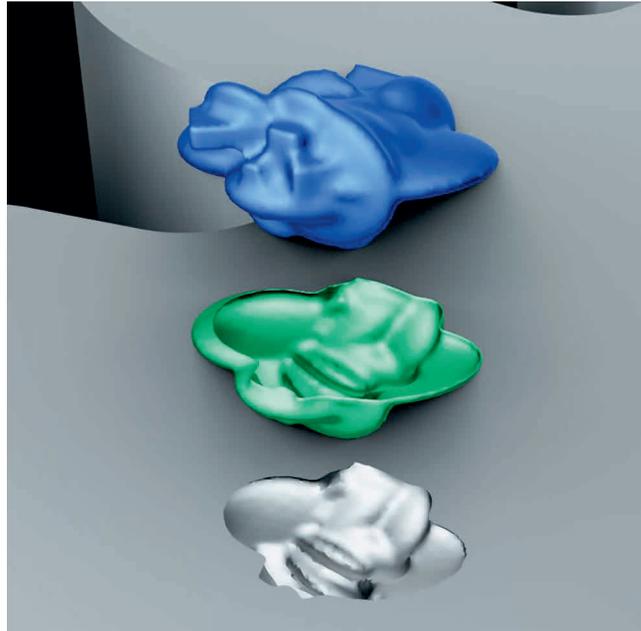
bar und lassen sich nur schwer auf verschiedene Fertigungsprozesse übertragen.

Künstliche Intelligenz bietet für diese Inspektionssysteme eine vielversprechende Lösung, die bei richtiger Umsetzung Entwicklungszeit und -kosten reduziert und eine präzise und flexible Fehlersuche ermöglicht. Gleichzeitig ist es beim Einsatz von KI besonders wichtig, dass das Prüfsystem zuverlässig arbeitet, keine entscheidenden Defekte übersieht und in unerwarteten Situationen vorhersehbar reagiert. Dies ist noch entscheidender, wenn es sich um Produkte handelt, deren Ausfall im Extremfall Menschenleben gefährden.

Das Training einer KI

Das Training eines robusten, automatischen, KI-basierten Inspektionssystems erfordert eine große Menge manuell annotierter Bilddaten, die insbesondere für alle Defektvarianten und Materialien repräsentativ sein müssen. Das heißt KI-Lernverfahren benötigen große, diversifizierte und präzise annotierte Datensätze. Diese Daten sind aber aus verschiedensten Gründen häufig nicht vorhanden.

Beim Supervised Learning wird ein neuronales Netz mit von Menschen annotierten Defektbildern trainiert. Leider sind die Datensätze in der Regel zu klein, da die Kosten (vor allem Personalkosten) für die Annotation hoch sind, das Produktionsvolumen schwankt oder die Produktionsumgebung oder die Fehlerhäufigkeit uneinheitlich sind. So wird es zum Beispiel in einer wirtschaftlichen Produktionsanlage immer mehr Gut-Bilder als Defekt-Bilder geben.



Der Vorgang der Defekterzeugung: Ein Defektwerkzeug (in blau) wird virtuell in die Produktoberfläche gedrückt (Ergebnis grün). Im nächsten Schritt wird die Produktoberfläche durch diesen Abdruck modifiziert (grau).

© Fraunhofer ITWM

Unsupervised Learning hingegen beschreibt das Training eines neuronalen Netzes nur mit Gut-Bildern, wobei Defekte hier Abweichungen von einem Soll sind. Dies erfordert die Beschaffung eines „goldenen Datensatzes“ aus Gut-Teilen. Das ist nicht einfach, da das Aussehen von Produktoberflächen nicht einheitlich ist und Staub, Handhabungsspuren oder andere Verunreinigungen auftreten können, die zwar einer Anomalie ähneln, aber nicht als Fehler angesehen werden und daher ignoriert werden sollten.

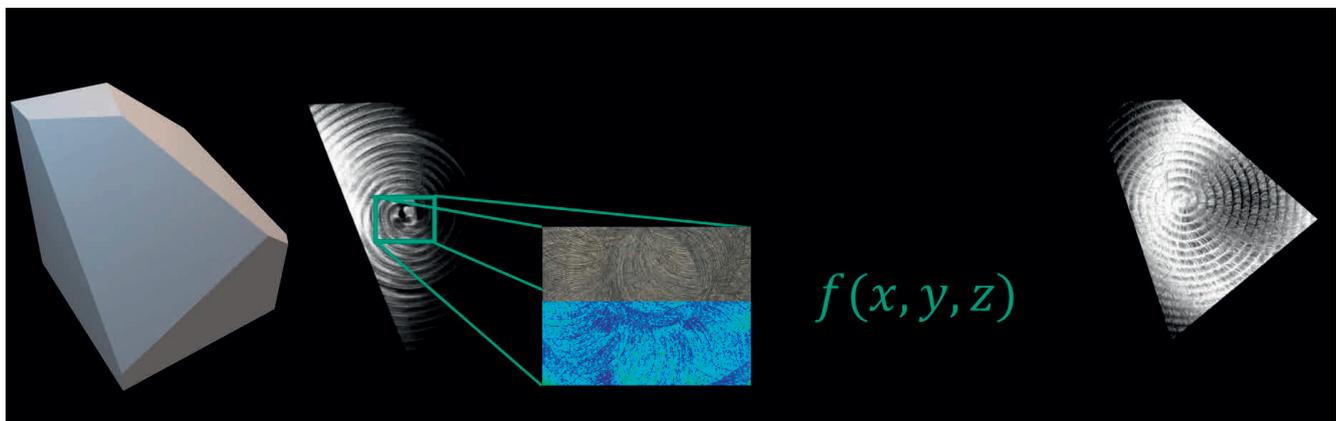
Synthetische Bilddaten haben sich in der optischen Inspektion bereits in verschiedensten Anwendungen als kosteneffizient erwiesen, wenn reale Daten nicht (ausreichend) verfügbar sind. Insbesondere die Möglichkeit große Datensätze zu lie-

fern, die Beispiele für unwahrscheinliche, aber mögliche Situationen enthalten, können die Robustheit einer KI-basierten Inspektion massiv erhöhen.

Deshalb soll im Projekt „eQuality“ eine fotorealistische Bildsynthese zum Erzeugen von Trainingsdaten implementiert werden. Um die entsprechenden Daten zu generieren, müssen Fehlerspezifikationen verfügbar sein – was ist überhaupt ein Fehler und was kann vorkommen, ist aber kein Fehler? Solche Fragen und passende Antworten beziehungsweise Informationen sollen in Form von Fehlermodellen bereitgestellt werden.

Erzeugung synthetischer Bilddaten

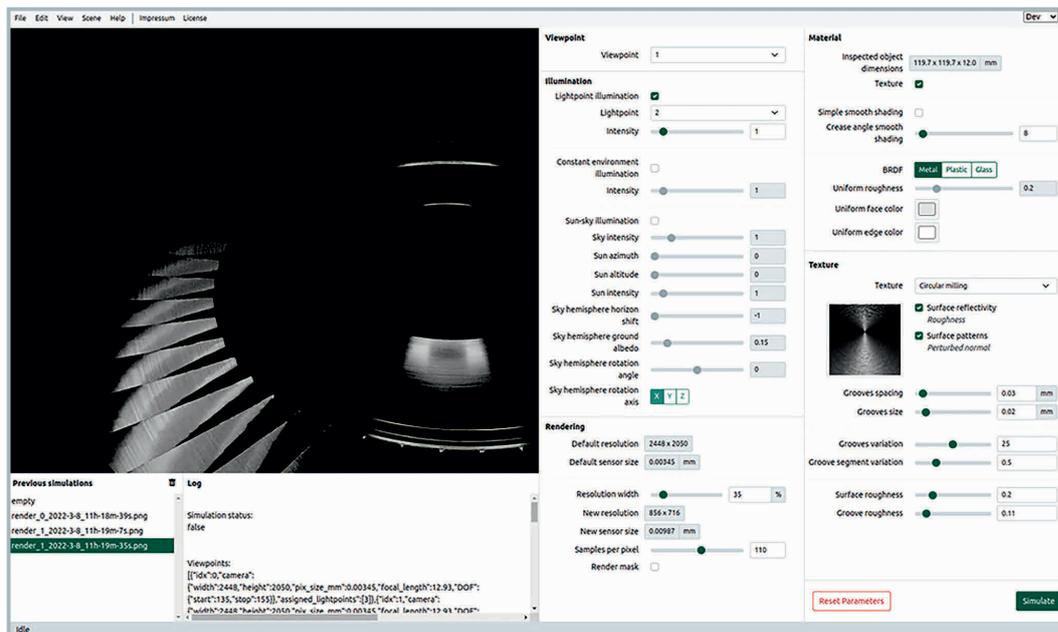
In der Literatur lassen sich zwei Hauptrichtungen zur Synthese von Bilddaten be- ➤



Die Abbildung zeigt, wie ein Materialmodell für ein Produkt generiert wird. Links das Produkt als CAD-Beschreibung, die vorher gemessene Veränderung der Geometrie durch einen Fräsvorgang wird gemessen (zweites Bild von links) und daraus ein Materialmodell $f(x,y,z)$ erzeugt. Mit diesem Modell wird dann die Objektgeometrie verändert und dann das finale Bild erzeugt. © Fraunhofer ITWM

Die Benutzeroberfläche von V-POI: Das Bild zeigt eine vollständig synthetisch erzeugte Bildaufnahme einer Turbinenscheibe, rechts im Bild sind die Parameter zu sehen.

© Fraunhofer ITWM



obachten: generativ – hier werden KI-Modelle zur Erzeugung synthetischer Daten verwendet – und regelbasiert, das heißt mit Computergrafiksimulationen werden physikalisch korrekte Bilddaten erzeugt. Man kann sagen, dass man bei einem generativen Ansatz eine einzelne Realisierung erzeugt, während man bei einem regelbasierten Ansatz den Kontext steuert, was eine weitaus größere Kontrolle, Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit bietet.

In der Praxis hat sich gezeigt, dass der generative Ansatz Probleme mit sich bringt, wie etwa Vererbung von Verzerrungen im ursprünglichen Datensatz, oder Schwierigkeiten bei der Generierung von Daten außerhalb der normalen Verteilung, also zum Beispiel sehr selten auftretende Defekte. Der regelbasierte Ansatz bietet eine bessere Kontrolle, ist jedoch komplexer in der Entwicklung.

In eQuality wird vor allem die regelbasierte Datengenerierung umgesetzt. Dies ermöglicht später eine vielfältige Parametrisierung der synthetischen Bilddaten. So kann das Erscheinungsbild eines Defekts beeinflusst werden, etwa dessen maximale oder minimale Größe. Dabei werden Bilddaten immer gemäß stochastischer Regeln generiert, es werden also Wahrscheinlichkeiten angegeben, die dann zu einer natürlichen Varianz in den Bilddaten führen.

Um korrekte synthetische Daten für die Produktion zu generieren, sind mathematisch zwei Modelle notwendig: Defektmodelle und Materialmodelle.

Defektmodelle beschreiben Defekte geometrisch oder als Abweichungen einer Textur; so sind zum Beispiel Kratzer und Dellen geometrische Deformationen einer Oberfläche. Andere Defekte wie Verfärbungen und matte Stellen lassen sich durch Texturmodelle beschreiben. In der Computergrafik gibt es bereits verschiedenste Geometrie- und Texturmodelle, die dafür geeignet sind.

Defekte während der Produktion entstehen sehr häufig durch Werkzeuge; in der Fertigung entstehen Kratzer auch durch kleine Abweichung beim Schleifen von metallischen Bauteilen. Deshalb müssen Modelle zur Defekterzeugung dieses Domänenwissen bezüglich der Fertigung mit einbeziehen.

Materialmodelle beschreiben die Oberfläche eines Produktes. Die Modellierung der Produktoberfläche muss sowohl auf der Ebene der Oberflächenstruktur (Textur) als auch der Geometrie erfolgen. Um die erforderliche Realitätsnähe der synthetischen Bilder zu erreichen, wird die Oberflächenmikrostruktur explizit modelliert.

Mit den Material- und Defektmodellen werden letztendlich entsprechende 3D-Geometriemodelle mit Texturen generiert, die dann von einem Renderer in ein physikalisch korrektes Bild umgerechnet werden. Es können verschiedenste Renderer genutzt werden; am Fraunhofer ITWM wird vor allem der Open-Source Renderer AppleSeed eingesetzt, da dieser hochqualitative Bilddaten erzeugt.

INFORMATION & SERVICE

AUTOR

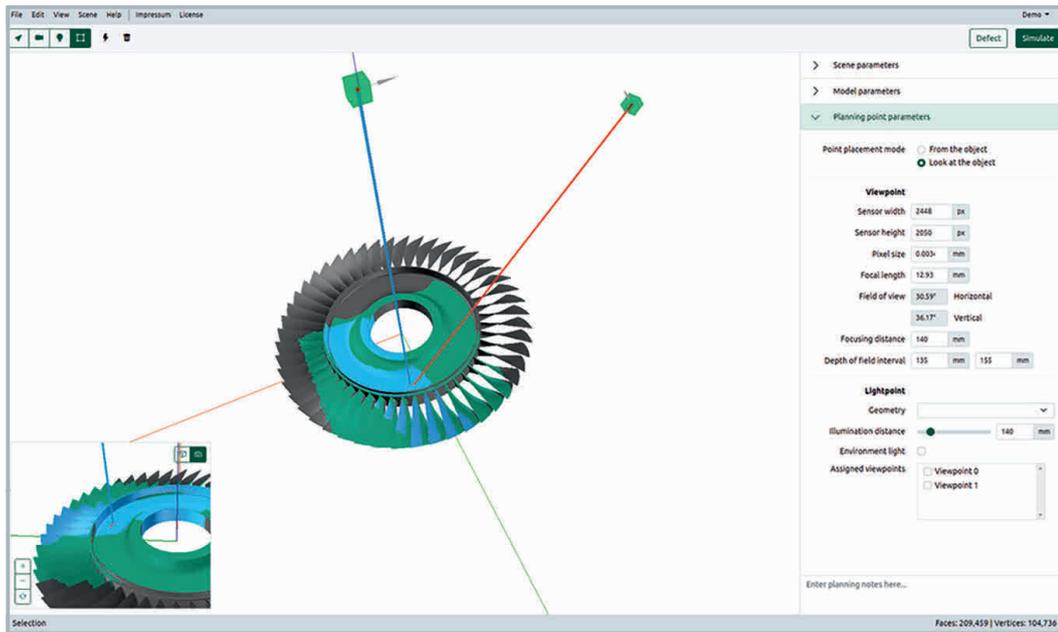
Markus Rauhut ist Leiter der Abteilung Bildverarbeitung am Fraunhofer ITWM

PROJEKTBERICHT

www.itwm.fraunhofer.de/de/abteilungen/bv/virtuelle-bildverarbeitung/projekt-equality.html

KONTAKT

Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM
Fraunhofer-Platz 1
67663 Kaiserslautern
T +49 631 31600-4595
markus.rauhut@itwm.fraunhofer.de



Das Prüfplanungsmodul von V-POI: Grün markierte Bereiche zeigen die von den Kameras abgedeckten Oberflächen, in blau sind redundante Regionen zu sehen, das heißt Bereiche, die von mehr als einer Kamera abgedeckt werden.

© Fraunhofer ITWM

Synthetische Daten alleine helfen nicht

Eine automatisierte Oberflächeninspektion erfordert Prüfplanungs-Experten für die Konfiguration der Sensoren (d.h. Kamera und Beleuchtung) und deren Positionierung. Die Positionierung der Sensorik ist extrem wichtig, da generell die gesamte Oberfläche eines Produkts geprüft werden muss.

Aufgrund der geometrischen Komplexität vieler Produkte und vorkommender reflektierender Materialien wie Metall ist die manuelle Planung für die Inspektion mühsam und teuer. Eine Lösung wurde in Form einer Inspektionsplanungssoftware am Fraunhofer ITWM entwickelt, mit der ein Experte die Sensorik und Beleuchtung in einer computergenerierten 3D-Szene frei platzieren kann, bevor das System gebaut wird. Die Simulation der Inspektionsumgebung wird durch physikalisch korrektes Rendering ermöglicht und damit die Erzeugung synthetischer, aber realistischer Bilddaten sichergestellt. Diese synthetischen Bilddaten entsprechen den realen Bildern

einer echten Kamera in einer realen Umgebung. Dies erlaubt es den Experten, das Verhalten von Kameras und Beleuchtungen zu betrachten, ohne einen Laborversuch durchführen zu müssen. Mit der Software kann also nicht nur der Prüfaufbau geplant, sondern auch die synthetische Datenerzeugung gesteuert und variiert werden.

Das Projekt

Mit der Bibliothek eQuality stellt das Fraunhofer ITWM eine Online-Plattform zur Verfügung, über die Menschen aus der Praxis in Industrie und Forschung Defekte entsprechend ihrer speziellen Produkte erzeugen und herunterladen können. Die Bibliothek soll im ersten Schritt eine Reihe von Fehlern abdecken, die für Metalloberflächen charakteristisch sind – wie Beulen, Kratzer, Risse, Kühlmittelrückstände, Metallspäne, Staubpartikel oder Flecken, und die entsprechenden Parameter aus diesem Schwerpunkt berücksichtigen. Als Bilddatenbank für ein KI-Training musste diese jedoch um Tools ergänzt werden, da es einige besondere Anforderungen gibt: Zum ei-

nem benötigt man für jede Art von Training eine Trainingsdatenmenge und eine Validierungsdatenmenge. Mit den Trainingsdaten werden die KI-Algorithmen trainiert und mit den Validierungsdaten überprüft, ob das Verfahren korrekt gelernt hat. Diese beiden Datenmengen sollten sich nicht überschneiden, deshalb erlaubt die Bilddatenbank eine Partitionierung in Training und Validierung. Zum anderen sollte der Nutzer einen Mix aus synthetischen und realen Trainingsdaten generieren können. Dies ist gerade für Stabilitätstests unerlässlich. Noch wichtiger ist die Möglichkeit der manuellen Annotierung von Bildern, das heißt die Benutzer müssen relevante Regionen in Bildern markieren und diese Informationen dann sichern können.

Ergänzt wird die Bibliothek durch die Software V-POI, die es ermöglicht, den vollständigen Prüfaufbau im Rechner zu konstruieren und dann die entsprechenden Materialien mit synthetischen Defekten zu versehen. ■