

ATZ extra



AUTOMATISIERTES FAHREN

Game Engines zur Simulation von Sensordaten

itk
ENGINEERING



© ITK Engineering | Unity Asset Store

Simulation von Sensordaten mittels Game Engines

AUTOR



Sebastian Wolter, M. Sc.
ist Lead Engineer Intelligent
Systems bei der ITK Engineering
GmbH in Frankfurt.

Die Absicherung hochautomatisierter Fahrzeuge ist durch die unendlich vielen und teilweise kritischen Testszenarien sehr komplex. Zunehmend wird daher auf virtuelle Methoden in frühen Entwicklungsstadien gesetzt. ITK Engineering zeigt, wie die Sensorik in einer realitätsnahen 3-D-Umgebung auf Basis etablierter Technologien aus der Gaming-Industrie abgesichert werden kann.

Um ein hohes Sicherheitsniveau beim hochautomatisierten Fahren zu erreichen, müssen reale Fahrzeugtests massiv durch Simulationen unterstützt werden. Statistische Aussagen, beispielsweise die eines Testumfangs von einer Million gefahrener Kilometer, sind keine Garantie für eine umfassende Abdeckung der Fahrsituationen. Zudem sind Realfahrten nicht reproduzier- und kontrollierbar und können nicht ohne Risiken durchgeführt werden. Die Sicherheit und Testbarkeit wird auf speziellen Versuchsstrecken zwar verbessert, die Zahl der

Testszenarien bleibt aber limitiert, zudem sind die Untersuchungen mit erheblichem Aufwand verbunden. Darüber hinaus erlauben aufgezeichnete Daten von Multisensorsystemen von Natur aus kein Closed-Loop-Testing. Ansätze zur Datenanreicherung (Data Augmentation) durch die sogenannte AI Image Translation – die Veränderungen von realen Messdaten mithilfe künstlicher Intelligenz, um beispielsweise die Tageszeit oder Wetterverhältnisse nachträglich zu ändern – sind aktuell in der Entwicklung, für interaktive

dynamische Szenen aber noch sehr schwer umzusetzen [1].

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, bietet die virtuelle Absicherung mittels Simulationen eine Kosten reduzierende Lösung mit einer besseren Skalierbarkeit und einem immer verfügbaren Wahrheitswert (Ground Truth). Zudem lassen sich virtuelle Tests bereits in frühen Entwicklungsstadien integrieren, und für die Sensordatenfusion müssen keine Multisensordaten von Hand gelabelt werden. Für die virtuelle Absicherung sind eine hochdetaillierte

3-D-Umgebung zur Darstellung der Test-szenarien sowie eine Modellierung der virtuellen Sensoren, die auf Basis der 3-D-Umwelt Sensordaten generieren können, erforderlich. Der digitale Zwilling des Fahrzeugs wird dabei in der simulierten 3-D-Umgebung mit kritischen Situationen konfrontiert. Um synthetische Daten zu generieren, bewegt sich das Fahrzeug (über ein Fahrdynamikmodell) in der hochauflösenden virtuellen Umgebung und interagiert mit anderen dynamischen und statischen Objekten wie Fußgängern. Hierzu muss eine 3-D-Szene erstellt und das Verhalten der sich dynamisch bewegenden Objekte modelliert werden. Für die Verarbeitung von virtuellen Kameradaten ist die Beleuchtungsdarstellung essenziell und muss physikalischen Prinzipien folgen. Für andere Sensorsimulationen müssen Geometrien und Materialeigenschaften detailliert nachgebildet werden, beispielsweise von Fahrzeugen, Asphalt oder Bordsteinen. Die verwendeten Sensormodelle sollen sowohl realitätsnah als auch schnell berechenbar (möglichst echtzeitfähig) sein, um sie in Software- oder Hardware-in-the-Loop-Testumgebungen einsetzen zu können. Fließen die so generierten Daten aus der Verarbeitungslogik wieder zurück zum Simulator (Closed Loop), können Fahrsituationen und Reaktionen eines dynamisch agierenden Systems komplett virtuell getestet werden. Besteht diese Rückkopplung nicht (Open Loop), können nur einzelne Zustände und Entscheidungen getestet werden. Für beide Varianten gilt: je realitätsnaher die Eingabedaten, desto höher das Vertrauen, dass das System auch in der Realität sicher funktioniert.

REALITÄTSNAHE ABSICHERUNG DANK GAMING-TECHNIKEN

Um die Absicherung von Sensorik in einem geometrisch realitätsnahen Umfeld umzusetzen, kommen etablierte Technologien aus der Gaming-Industrie zum Einsatz. Eine sogenannte Game Engine (Unity3D oder Unreal Engine) bildet dafür die Basis der 3-D-Darstellung. Zu ihren Stärken gehört insbesondere die Visualisierung von tausenden hochauflösenden 3-D-Inhalten. Der integrierte 3-D-Editor und die Kompatibilität mit verschiedensten Dateiformaten erlauben einen schnellen Aufbau von 3-D-Szenen und die Integration von 3-D-Modellen



BILD 1 Simulation einer Autobahnfahrt bei Nacht im dichten Verkehr (© ITK Engineering | Unity Asset Store)



BILD 2 Simulation einer Autobahnfahrt bei Nacht mit Wildwechsel (© ITK Engineering | Unity Asset Store)

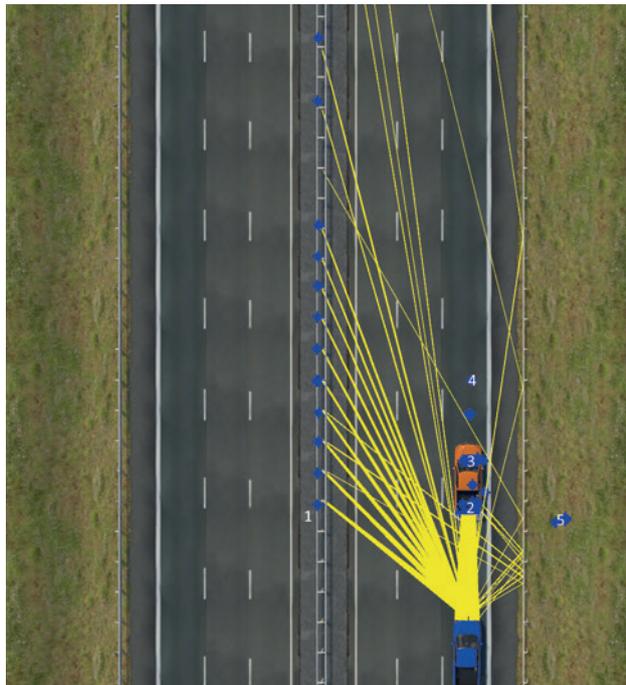
per „Drag and Drop“ aus verschiedenen Quellen, sogenannten Asset Marketplaces, BILD 1 und BILD 2. Auch die Positionierung und Parametrierung mehrerer virtueller Kameras ist gegeben. Zur möglichst fotorealistischen Bilddarstellung wird das sogenannte Physically Based Rendering [2] eingesetzt. In jüngerer Zeit kommen zudem verstärkt Strahlverfolgungsverfahren (Raytracing) zur Steige-

rung der grafischen Qualität zur Anwendung. In der Nachbearbeitung (Post Processing) können unter anderem Linsenverformungen und Tiefenschärfe integriert, aber auch eigene Effekte entwickelt werden. Dazu ist Know-how im Bereich des sogenannten Shader-Programming erforderlich. Für die realistische Simulation von Kameradaten ist damit eine gute Basis geschaffen [3].

Im Vergleich zur Kamera benötigen Sensortypen wie Lidar, Ultraschall und Radar eine separate Sensormodellierung. Die in die Game Engine eingebaute Physiksimulation kann bei einer einfachen Sensormodellierung unterstützen, um beispielsweise einfache Distanzsensoren nachzubilden. Auch lassen sich damit phänomenologische Modelle modellieren, die Ground-Truth-Daten mit bekannten Phänomenen anreichern. Diese sind zwar schnell berechenbar, Objekte werden hierbei allerdings nur näherungsweise durch einfache Hüllkörper dargestellt und statische Objekte wie eine Leitplanke in einer Kurve nur vereinfacht oder gar nicht berücksichtigt. Im Gegensatz dazu sind Berechnungen zur Wellenausbreitung mittels der Finite-Elemente-Methode (FEM) zwar physikalisch sehr genau, aber nicht echtzeitfähig. Sie werden bei dynamischen und komplexen Umgebungen aufgrund des hohen Speicherbedarfs für die räumliche Diskretisierung nicht eingesetzt, sondern eher zur Untersuchung lokaler Phänomene oder verschiedener Bauweisen und Einbaueffekte.

ECHTZEITFÄHIGE UND KONSISTENTE MULTISENSORDATEN-GENERIERUNG

Einen Kompromiss zwischen Rechenzeit und Genauigkeit bieten physikalische Modelle auf Basis des Raytracing-Verfahrens. Damit ist es möglich, die Ausbreitung einer Welle durch eine Vielzahl von Strahlen in der Szene in Echtzeit nachzuvollziehen, da hierbei die Wellenausbreitung direkt physikalisch abgebildet wird. Die Strahlen werden von den virtuellen Sensoren in die simulierte 3-D-Welt ausgesendet, wo sie dann mit Oberflächen durch Reflektion, Streuung oder Transmission interagieren. Über ein physikalisches Modell werden mit jedem Strahlweg physikalische Größen, zum Beispiel relative Dopplergeschwindigkeit, Intensität oder Schalldruck, mitgeführt und während der Simulation aktualisiert. Dieser Vorgang setzt sich solange fort, bis der Strahl auf einen Empfangssensor trifft. Dort werden die empfangenen Daten zusammengeführt, über Post-Processing-Module weiterverarbeitet und über externe Schnittstellen an Teilnehmer der Signalverarbeitungskette übergeben. Der Fokus liegt hier auf der Rohdatengenerierung, sodass nachgelagert mit diesen Daten eine beliebige Perzeptions-



- 1 Reflektion an Leitplankenpfosten
- 2 Reflektion am hinteren Teil des Fahrzeugs
- 3 Reflektion am vorderen Teil des Fahrzeugs
- 4 Mehrfachreflektion
- 5 Geisterziel/Spiegelreflektion an Leitplanke

BILD 3 Simulation eines Radarsensors
© ITK Engineering | Unity Asset Store

algorithmik bedient werden kann.

Um eine Echtzeitfähigkeit zu erreichen, werden dabei Game Engine, Raytracing und Post-Processing durch Parallelisierung auf Grafikkarten beschleunigt. Dieser Ansatz profitiert sowohl von stetigen Neuerungen im Bereich der Grafikkarten als auch von visuellen Effekten und der Leistungssteigerungen der Game-Engine-Software.

PHYSIKALISCHES SENSORMODELL AM BEISPIEL RADAR

Bei der Anwendung des Raytracing-Verfahrens zur Rohdatengenerierung eines Radarsignals approximiert die Simulation die Radarwellen als eine Vielzahl einzelner Strahlen. Diese werden, basierend auf dem Sensorsichtfeld, zu tausenden in die 3-D-Szene emittiert, **BILD 3**. Die am Radar empfangene Leistung hängt hierbei unter anderem von der Antennencharakteristik des modellierten Sensors ab. Der Energieverlust durch die kugelförmige Ausbreitung wird mittels der Laufzeit der unterschiedlichen Strahlwege berücksichtigt. Der Einfallswinkel (Inzidenzwinkel) und die Frequenz der Trägerwelle spielen für die Materialinteraktion eine große Rolle. Auch umgebungs- und atmosphärische Parameter und Polarisierungseffekte werden abgebildet. Für die Mehrwegeausbreitung wird die komplette verfügbare 3-D-Geometrie berücksichtigt. Potenzielle

Geisterziele durch Reflektionen über Boden, Leitplanke oder Wände ergeben sich hiermit automatisch aus dem verwendeten Verfahren, was einen großen Vorteil gegenüber phänomenologischen Modellen darstellt (Hybridverfahren aus phänomenologischen und physikalischen Raytracing-Methoden sind auch möglich). Die relative Dopplergeschwindigkeit wird auch auf Mikrodoppler-Ebene aufgelöst. Das bedeutet, dass sich bei bewegenden Objekten je nach Interaktionspunkt unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten ergeben. Ein Beispiel dafür sind Fußgänger, die durch ihre Arm- und Beinbewegungen andere Geschwindigkeiten als durch die reine Körperbewegung haben. Dies ist wichtig für die Klassifizierung und Bewegungsschätzung der Objekte und muss daher auch im Simulator abgebildet werden. Auch Mehrfachreflektionen, also das mehrfache Durchlaufen des gleichen Strahlwegs an ein und demselben Objekt, werden durch das Raytracing-Verfahren direkt aufgelöst. Die Modellierung dieser Effekte ist essenziell für die Erzeugung realitätsnaher Sensordaten, **BILD 4**.

VIelfältige ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Das Simulationsverfahren findet im Entwicklungsprozess entlang des gesamten V-Modells Anwendung. Bereits in der Designphase bei einer frühen Evalua-

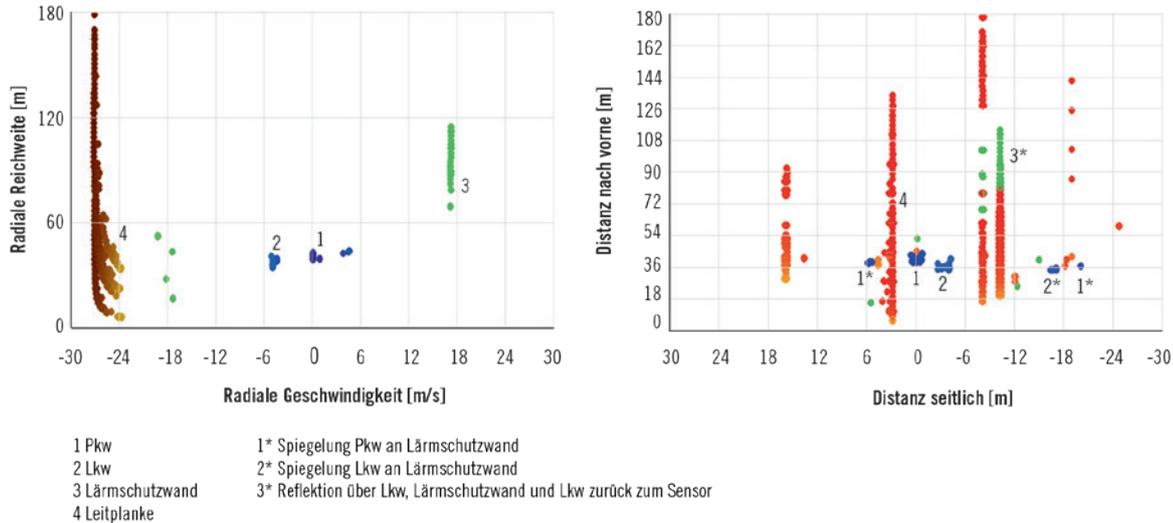


BILD 4 Simulationsbeispiel einer Autobahnfahrt: Radar-Range-Doppler (links) und Lageplan (rechts) © ITK Engineering | Unity Asset Store

tion verschiedener Einbauorte von Sensoren kann Raytracing eingesetzt werden, um Probleme zu erkennen und günstige Positionen zu ermitteln, beispielsweise für ein radarbasiertes Abbiegeassistenzsystem. Mehrere Sensoren können einfach ausprobiert und umplatziert werden, um eine stetige Sichtbarkeit von Objekten rund um das Fahrzeug zu gewährleisten. Da besonders im hochautomatisierten Fahrzeug ein Mix verschiedener Sensoriken sowie Sensortechniken benötigt wird, kann das Verfahren bei der Ermittlung eines optimierten Sensorlayouts unterstützen.

Zudem werden während der Algorithmenentwicklung immer wieder Daten benötigt, bevor reale Messungen durchgeführt und gelabelt werden können. Beispielsweise können bei der Entwicklung einer Objekterkennung von E-Scootern, Radfahrern und Fußgängern Mikrodoppler-Sensordaten für die Perzeption zur Verfügung gestellt werden. Auch für die Entwicklung von Sensor-

fusionsalgorithmen lassen sich konsistente Daten erstellen, wie sie normalerweise Multisensorsysteme liefern.

In der Absicherung liefert diese Methodik im Bereich der X-in-the-Loop-Testverfahren Daten auf verschiedenen Ebenen. Für Funktionstests können Ground-Truth- und Objektdaten verwendet werden, eine Objekterkennung erfordert Pixeldaten oder Punktwolken, andere Perzeptionsalgorithmen benötigen Umgebungs- und Funktionsdaten, bis hin zu den Signalen bestimmter Sensortypen. Darüber hinaus erlaubt die Methodik eine automatisierte Veränderung der Testszenarien, um Grenzfälle aus einer Vielzahl von prozeduralen Szenariovarianten effizient zu identifizieren.

FAZIT UND AUSBLICK

Mit Gaming-Methoden lassen sich individuelle und realitätsnahe 3-D-Umgebungen zur Simulation und Erstellung von Mustern im Rapid-Prototyp-Verfahren mit

qualitativen, synthetisch generierten Sensordaten erzeugen. Physikalische Sensormodelle füllen die Lücke zwischen den klassischen numerischen Verfahren und phänomenologischen Modellen. Durch den Einsatz von Game Engines profitiert man direkt von zukünftigen Hard- und Softwareentwicklungen. Ergänzend zu realen Fahrzeugtests können damit in einem frühen Entwicklungsstadium skalierbare Tests virtuell durchgeführt und damit sichere hochautomatisierte Fahrfunktionen entwickelt werden.

LITERATURHINWEISE

- [1] Liu, M.-Y.; Breuel, T.; Kautz, J.: Unsupervised Image-to-Image Translation Networks. Neural Information Processing Systems annual meeting (NIPS), 2017
- [2] Pharr, M.; Jakob, W.; Humphreys, G.: Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. Morgan Kaufmann: Burlington, 2016
- [3] Mayer, N.; Ilg, E.; Fischer, P.; Hazirbas, C.; Cremers, D.; Dosovitskiy, A.; Brox, T.: What Makes Good Synthetic Training Data for Learning Disparity and Optical Flow Estimation? In: International Journal of Computer Vision 2018, Nr. 126, S. 942-960

IMPRESSUM:

Sonderausgabe 2021 in Kooperation mit ITK Engineering GmbH, Lochhamer Straße 15, 82152 Martinsried;

Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Postfach 1546, 65173 Wiesbaden, Amtsgericht Wiesbaden, HRB 9754, USt-IdNr. DE811484199

GESCHÄFTSFÜHRER:

Stefanie Burgmaier | Andreas Funk | Joachim Krieger

PROJEKTMANAGEMENT: Anja Trabusch

TITELBILD: © hutterstock/metamorworks



ITK Engineering

Seit der Firmengründung 1994 stehen wir für Stabilität, Sicherheit und Methodenexpertise. Damals wie heute bildet branchenübergreifendes Spezialwissen insbesondere im Bereich der Regelungstechnik und der modellbasierten Entwicklung die Basis, um unsere Kunden von der Idee bis zur Serienproduktion durchgängig und partnerschaftlich zu begleiten.

Unsere Kompetenzen umfassen u.a.:

- Softwareentwicklung
- Hardwareentwicklung
- Elektrik/Elektronik
- Systemintegration
- Software als Produkt
- Komplettlösungen
- Auftragsentwicklung
- Technische Beratung
- Schulungen
- Qualitätssicherung

Die Zufriedenheit all unserer Partner und ein respektvolles Miteinander prägen unsere Unternehmensphilosophie, in der vier Werte fest verankert sind: Lesen Sie gerne mehr darüber im Web.



V.1.0.0_d_2021



ITK Engineering GmbH
Hauptsitz Rülzheim
Im Speyerer Tal 6
76761 Rülzheim
Tel.: + 49 (0)7272 7703-0
Fax: + 49 (0)7272 7703-100
info@itk-engineering.de

Gegründet 1994 –
heute hat ITK deutschlandweit Niederlassungen und ist international vertreten.



www.itk-engineering.de
www.itk-karriere.de

Folgen Sie uns auch auf:

