



Vermessung der Kiesgrube Ötigheim mit hochauflösender Sensorik.

CVC/TU Kaiserslautern

Autonomie in unwegsamem Gelände

Aktuelle Zwischenergebnisse des CVC-Leitprojekts zum autonomen Fahrbetrieb von Nutzfahrzeugen im Off-Road-Bereich.

Simulationstests sind ein wichtiger Bestandteil der frühen Entwicklung von autonomen Steuerungen, um einen sicheren und effizienten Testbetrieb in realen Umgebungen zu gewährleisten.

Das CVC-Leitprojekt »Autonomer Fahrbetrieb von Nutzfahrzeugen im Off-Road-Bereich am Beispiel des Unimogs« befasst sich mit der autonomen Navigation und maschinellen Wahrnehmung von Nutzfahrzeugen in stark unstrukturiertem Gelände. Die Herausforderungen und technischen Hürden sind in

solchen Off-Road Szenarien deutlich komplexer als im Straßenverkehr: Die Umwelt ist unstrukturiert, unterliegt permanenten Änderungen und ist somit technisch unvorhersehbar. Den resultierenden technischen Schwierigkeiten steht ein großer Nutzen in Anwendungsfeldern wie beispielsweise dem



Bauwesen, der Landwirtschaft oder dem Katastrophenschutz gegenüber.

Die Herausforderungen des Off-Road Geländes betreffen die Sensorik der Maschine, welche permanenten Störungen durch die Umwelt unterliegt sowie die sichere und robuste Navigation in unbekanntem Gelände. Sicher bedeutet in diesem Kontext, dass die Maschine sich und ihrer Umwelt keinen Schaden zufügen darf, während Robustheit die Fähigkeit adressiert auf Störungen und unbekannte Ereignisse zuverlässig und korrekt zu reagieren. Beispielsweise werden Sensoren, wie Kameras oder Laser, durch Regen, Staub oder Lichteinfall gestört, während die Maschine zeitgleich über unbekanntem Untergrund, wie Sand oder loses Geröll, navigiert.

Eine korrekte Umweltinterpretation lässt sich nur eingeschränkt realisieren, da diese von potenziell fehlerbehafteter Sensorik abhängt. Dennoch muss die Maschine auf unvorhersehbare Situationen korrekt, zuverlässig sowie sicher reagieren und ausführende Aufgaben mit hoher Qualität bewältigen. Deshalb greift dieses Projekt verhaltensbasierte

Lösungen auf, mit denen bereits in der Vergangenheit vielversprechende Resultate erzielt wurden.

Ziele des Leitprojekts sind die Entwicklung von Lösungen für den Aufbau von Navigations- und Perzeptionssystemen für komplexe Nutzungsszenarien und das Bereitstellen von Konzepten, die auf beliebige Nutzfahrzeuge übertragen werden können. Eine weitere Aufgabe ist das Herausarbeiten von Handlungsempfehlungen zur Entwicklung von Assistenz- und autonomen Steuerungssystemen für innovative Nutzfahrzeuge. Das dreijährige Forschungsprojekt wird von der CVC-Nutzfahrzeug GmbH und der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) finanziert. Als Demonstrator dient das Nutzfahrzeug Unimog, welches über eine extreme Geländegängigkeit verfügt und ein geeignetes Basisfahrzeug für alle zu bewältigenden Navigations- und Perzeptionsszenarien ist.

Einen wichtigen Schritt für die Entwicklung autonomer Steuerungen ist die Schaffung einer realitätsnahen Simulationsumgebung. Diese ermöglicht das Testen der Maschine in einer virtuellen Umgebung, welche weit über eine reine Visualisierung

Simuliertes Testen der Steuerung und Perzeption in der rekonstruierten Szene mit dem Unimog

oder Animation des Fahrzeugs hinausgeht. Stattdessen berechnet ein Simulator alle notwendigen Umwelt- und Physikeigenschaften, die einen Einfluss auf das Fahrzeug haben. Somit ist eine interaktive und physikalisch korrekte virtuelle Interaktion mit der Umgebung erreichbar. Die Simulation bietet eine sichere Testumgebung für die Erprobung erster Steuerungsansätze. So kann beispielsweise bei dem im Rechner hinterlegten Modell des Unimogs die Sensorik an verschiedenen Montagepunkten platziert und der Einfluss auf Sichtfelder sowie das autonome Verhalten getestet werden.

Wesentliche Charakteristiken eines Simulators sind das Bereitstellen von identischen Schnittstellen, wie sie auch die reale Plattform hat, sowie das Übertragen qualitativ ähnlicher Signale an die Kontrollsoftware. Nur wenn hier eine ausreichende Nähe zum realen System realisiert wird, kann die Simulation so reagieren wie das reale System.

Hierfür müssen Sensorik und Steuerungsbefehle im Simulator richtig abgebildet werden: Messdaten müssen die für die Datenverarbeitung relevanten Charakteristiken beinhalten und eine ähnliche Qualität wie Realdaten aufweisen, um vergleichbare Verarbeitungsergebnisse zu erzielen. Zudem sind Steuerungsbefehle derart umzusetzen, dass der Unimog als autonomer Roboter das gleiche Navigations- und Interaktionsverhalten in der realen Umwelt und in der Simulation zeigt.

.....
Sensorsicht des Roboters auf die Kiesgrube (links) mit anschließendem simulierten Test in demselben Areal (rechts).

Die Sensorik soll Umwelteffekte, wie Lichteinfall, Überblendungen, Rauch, Witterungsbedingungen, Staub, Nebel oder Schattenwurf, abbilden können. Derartige Faktoren beeinflussen die Wahrnehmungsalgorithmik stark. Ebenso ist es unerlässlich, Umwelt- und Fahrzeugparameter, wie Masse, Schwerpunkte oder Reibkoeffizienten, hinreichend gut zu approximieren, um realistische Navigationseffekte zu erzielen. Die Simulation hat zudem die Balance zwischen einem für die Anwendung benötigtem Detailgrad sowie der Rechenleistung des Simulationscomputers zu wahren, um Echtzeitanforderungen der Steuerung einzuhalten.

Anhand von Simulationen durchgeführte Tests bieten neben den zuvor schon erwähnten noch einige weitere Vorteile. Beispielsweise das Abbilden reproduzierbarer Testreihen mit verschiedenen Parametern. In einer realen Umwelt ist ein Parametersatz zwischen verschiedenen Tests nie identisch, da beispielsweise Licht-, Schattenwurf, Positionen von Navigationssatelliten oder Umweltobjekte sich verändern. In einer Simulation lassen sich beliebige Umweltfaktoren, wie Tageszeit oder Witterung, anpassen oder festlegen. Damit werden identische Tests unter wechselnder Parametrisierung durchführbar, wiederholbar und führen zu vergleichbaren Ergebnissen.

Es lassen sich auch Testfälle generieren, welche real schwer oder nicht zu testen sind. Beispielsweise sicherheitskritische Tests in Bezug auf Kollisions- oder Kippverhalten des Nutzfahrzeugs oder dessen



Einsatz unter extremen Witterungsverhältnissen, die zum Beispiel jahreszeitabhängig sind. Simulationstests ermöglichen eine qualitative Bewertung der Robotersteuerung unter vielfältigen Konditionen. Hierfür geeignete Simulatoren sind zum Beispiel V-Rep oder Gazebo. Sie verfügen über Schnittstellen, die mit beliebiger Steuerungssoftware kommunizieren können. Im Rahmen des Leitprojekts wurden V-Rep sowie die Unreal Engine verwendet. Beide sind an das Finroc Steuerungsframework gekoppelt.

Eine reale Testumgebung des Unimogs stellt die Kiesgrube Ötigheim dar. Diese wurde zur Gewinnung von aussagekräftigen Simulationsergebnissen mit hochauflösenden 3D-Lasern und Stereokamerasystemen vermessen und vollständig rekonstruiert. Reale und in der Simulation abgebildete Umgebung weisen lediglich wenige Zentimeter Differenz im Bereich der Bodenkonturen auf. Die Qualität der Simulationsergebnisse wird durch diese hohe Abbildungsgenauigkeit stark verbessert.

Zur Datengewinnung wurde die Kiesgrube mit dem Unimog vollständig befahren und Abstandsdaten sowie Bilder aufgezeichnet. Aus den Rohdaten entfernten die Programmierer des Geländemodells dynamische Hindernisse, wie den Fahrzeugrumpf oder Personen. Sie filterten zudem Messrauschen und vereinigten zeitpunktbezogene Einzelmessungen zu einer Gesamtmessung. Dabei war die räumliche

Überlappung der 3D-Laser-Messpunkte hilfreich, um iterativ die Verschiebung und Rotation der Einzelmessungen zu errechnen. Die resultierende Punktwolke wurde anschließend trianguliert, in Gitternetze umgewandelt und in den Simulator geladen. Hier konnten dann die zuvor entfernten statischen Objekte, Texturen und Bodeneigenschaften durch systemseitig bereitgestellte Vorlagen substituiert werden. Dies ermöglicht es, Simulationen mit angemessenem Rechenaufwand umzusetzen, und minimiert den Aufwand für spätere Softwareanpassungen.

Tests in der rekonstruierten Szene entsprechen weitestgehend realen Tests. Es ist so wesentlich einfacher, Unterschiede im Kontroll- und Wahrnehmungsverhalten des Roboters zu erkennen und die hierfür relevanten Umweltkriterien zu identifizieren. Bereits in frühen Projektphasen, also vor Fertigstellung des Demonstrators, konnten Ansätze zur Umweltwahrnehmung und Steuerung entworfen und simuliert werden. Insbesondere ließ sich anhand der Simulation schon ein erstes Sensorikkonzept erarbeiten, indem Sensorik am virtuellen Unimog platziert und die Auswirkungen auf die Steuerung in der Kiesgrube getestet wurden.

Nächste Schritte sind die Übertragung der Simulationsergebnisse auf die reale Maschine und Validierung des technischen Konzepts in realen Tests.

Kontakt

Lehrstuhl
 Robotersysteme
 TU Kaiserslautern
 Gottlieb-Daimler-Str. 48
 67663 Kaiserslautern
agrosy.cs.uni-kl.de

Ansprechpartner:
 Prof. Dr. Karsten Berns
 Tel.: +49 631 205-2613
 Fax: +49 631 205-2640
berns@cs.uni-kl.de

Patrick Wolf
 Tel.: +49 631 205-3588
 Fax: +49 631 205-2640
patrick.wolf@cs.uni-kl.de



Das Projekt wird gefördert von:



EUROPÄISCHE UNION
 EUROPÄISCHER FONDS FÜR
 REGIONALE ENTWICKLUNG



Rheinland-Pfalz