

# Wie Roboter autonom und zuverlässig werden

## *How Robots are Increasingly Becoming Autonomous and Reliable*

Gerald Steinbauer

Autonome Roboter sind heute näher an Menschen als klassische Industrieroboter. Darum ist die Zuverlässigkeit dieser Roboter entscheidend. Modellbasierte Techniken, die während des Entwicklungsprozesses und des Einsatzes angewandt werden, können diese Zuverlässigkeit erhöhen. Aus der wissenschaftlichen Perspektive sind das Testen und die Überwachung der komplexen Interaktion des Roboters mit seiner Umgebung und seiner Entscheidungsautonomie von besonderem Interesse.

Autonome Roboter werden sowohl vermehrt in der Industrie oder dem Gewerbe als auch im täglichen Leben eingesetzt. Diese neue Robotergeneration zeigt drei Eigenschaften, die sie von klassischen Industrierobotern unterscheidet. Erstens sind die Roboter mobil, interagieren direkt und teilen sich die Umgebung mit Menschen, ohne durch einen Zaun getrennt zu sein. Zweitens verfügen sie über einen gewissen Grad an Entscheidungsautonomie, der es ihnen erlaubt, Ziele auf unerwarteten Wegen zu erreichen und autonom auf Änderungen in der Umgebung zu reagieren. Drittens sollen sie über einen langen Zeitraum ohne Wartung durch Menschen funktionieren. Daher ist die Zuverlässigkeit solcher Systeme – die Fähigkeit, die vorgesehene Funktion auch bei auftretenden Problemen zu erbringen – entscheidend. Probleme erwachsen hier primär aus der Komplexität der realen Welt, die für einen Roboter schwer zu greifen ist, und seiner, im Vergleich zum Menschen, immer noch beschränkten Fähigkeiten in der Wahrnehmung, dem Agieren und dem Schlussfolgern. Menschen haben bessere Fähigkeiten zur Wahrnehmung der Welt entwickelt und sind gut darin, mit unvollständigen Informationen, Inkonsistenzen und Annahmen umzugehen.

### Die Modelle stehen im Zentrum

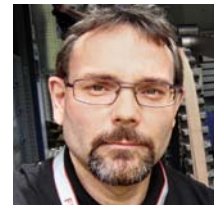
Die Arbeitsgruppe Autonome intelligente Systeme am Institut für Softwaretechnologie forscht an >

*Autonomous robots are nowadays much closer to humans than classical industrial robots. For this reason, their dependability is crucial. Model-based techniques applied during the development and deployment process are able to increase this dependability. From the research perspective testing and monitoring the complex interaction of a robot with its environment and its decisional autonomy is particularly interesting.*

*Autonomous robots are increasingly deployed in industry or for professional services as well as in daily life. This new generation of robots exhibits three central properties that distinguish them from classical industrial robots. First, they are mobile and directly interact and share their space with humans without being separated by a fence. Secondly, they possess a certain degree of decisional autonomy allowing them to achieve goals in novel, unexpected ways and to autonomously respond to changes in the environment. Lastly, they can ideally work for a long time without needing maintenance or care from humans. For this reason, the dependability of such systems – the capability to provide the intended function safely even in the face of difficulties – is crucial. Difficulties mainly originate from the complexity and non-determinism of the real world, which is hard to grasp for a robot with sensing, acting and reasoning capabilities inferior to those of humans. Humans have developed much better skills for perceiving the world and are very good at dealing with incomplete information, inconsistencies and default assumptions. Such capabilities are hardly ever seen in autonomous robots.*

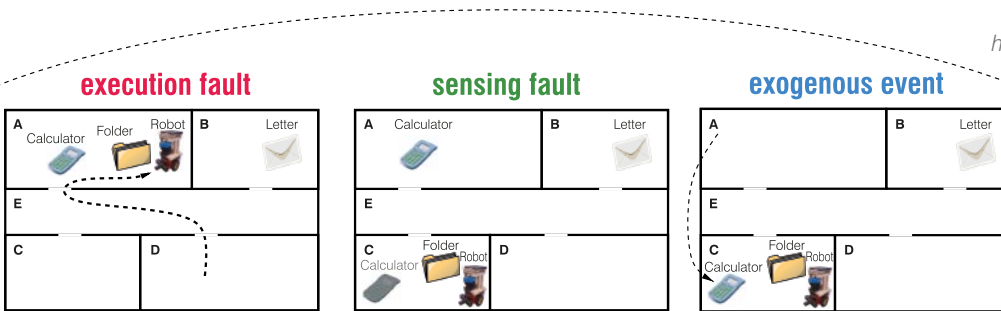
### Models are central

*The working group Autonomous Intelligent Systems at the Institute for Software Technology conducts research on methods to improve the dependability of autonomous systems. Basically these methods differ if they are applied during the development of the system or during its deployment. Both methods >*



Gerald Steinbauer ist Inhaber einer Professorenlaufbahnstelle am Institut für Softwaretechnologie der TU Graz. Seine Forschungsinteressen konzentrieren sich auf zuverlässige autonome Roboter. Er ist (bzw. war) Projektleiter von zwei nationalen Forschungsprojekten zu diesem Thema.

*Gerald Steinbauer is assistant professor with tenure track at the Institute of Software Technology at Graz University of Technology. His research interests focus on dependable autonomous robots. He has been project leader of two national research projects on this topic.*



have in common that they are model-based – meaning that there are models of the system that describes the desired behavior of the system. The used models range from finite state machines over labeled transition systems to logic-based declarative models.

During the development process model-based testing (MBT) techniques are used. These techniques use models to generate test cases so that system errors can be detected. While the application of MBT to hardware and software has long been within the focus of the Institute, the application of these techniques to autonomous systems is quite new. The challenges are the modeling of the non-determinism of the interaction with the environment and the fact that the robot is able to achieve its task in various and even unexpected ways. For this reason, simple descriptions of input/output relations are not sufficient.



© TU Graz

**Abbildung 1:**  
**Diagnose der Wissensbasis eines Roboters. Mehrere konsistente Erklärungen für eine inkonsistente Wahrnehmung.**

**Figure 1:**  
**Diagnosis of a robot's knowledge base. Several consistent explanations for an inconsistent perception.**

Methoden, die die Zuverlässigkeit autonomer Systeme erhöhen. Grundsätzlich unterscheidet man, ob eine Methode während der Entwicklung oder während des Einsatzes angewandt wird. Beide Methodenarten haben gemein, dass sie modellbasiert sind. Das bedeutet, dass sie Modelle verwenden, die das gewünschte Verhalten des Systems beschreiben. Die verwendeten Modelle reichen von endlichen Automaten über Transitionssysteme bis zu logikbasierten deklarativen Modellen. Während der Entwicklung werden Methoden des modellbasierten Testens (MBT) verwendet. Diese verwenden die Modelle, um Testfälle zu generieren, die es erlauben, Fehler im System zu detektieren. Während die Anwendung von MBT auf Hardware und Software schon lange im Fokus des Institutes steht, ist die Anwendung in autonomen Systemen relativ neu. Die Herausforderung ist hier die Modellierung des Nichtdeterminismus der Interaktion mit der Umgebung und die Tatsache, dass der Roboter seine Aufgabe auf verschiedene und unerwartete Art erledigen kann. Einfache Beschreibungen von Input/Output-Relationen sind hier nicht ausreichend.

Eine Alternative ist die Beschreibung als Planungsproblem mit einem Anfangszustand, einer Menge von Aktionen und einem Ziel. Während des Einsatzes werden modellbasierte Techniken zur Diagnose und Reparatur verwendet. Die zentrale Idee ist, dass Beobachtungen aus dem realen System mit erwartenden Beobachtungen, die vom Modell generiert werden, verglichen werden. Wird eine Diskrepanz festgestellt, wurde ein Problem detektiert. Weiterführendes Schlussfolgern erlaubt es, die Ursache des Problems zu identifizieren. Diese Techniken werden auf allen Ebenen, von der Hardware über die Software bis hin zum

An alternative is seeing the description as a planning problem with an initial state, a set of possible actions and a goal. During the deployment of the robot, model-based reasoning to perform diagnosis and repair is used. The central idea is that observations from the real system are compared to expected observations generated by a system model. When a discrepancy is encountered, a problem is detected. Further reasoning allows the root cause of the problem to be identified. These techniques had been applied at all levels in robots ranging from hardware and software to the belief and behavior of a robot. Usual root causes are broken hardware components, undiscovered dead locks in the software, uncertain percepts leading to wrong beliefs or unreliable action executions. Once the root cause has been identified, there are methods to derive repair strategies to automatically mitigate the problems. For instance the robot can plan to execute sensing actions in order to remove inconsistent knowledge.

### From basic research to application

The foundations of these methods were mainly developed in basic research projects funded by the FWF before. Earlier projects focused on the diagnosis and repair of robots' hardware and software while a recently finished project "Active Belief Re-

Wissen und Verhalten des Roboters, angewandt. Übliche Ursachen für Probleme sind defekte Hardwarekomponenten, unentdeckte Deadlocks in der Software, ungenaue Wahrnehmungen, die zu falschen Vorstellungen führen, oder die unpräzise Ausführung von Aktionen. Nachdem die Ursache identifiziert wurde, gibt es Methoden, um Reparaturstrategien anzuleiten, die erlauben, den Fehler automatisch zu beheben. Zum Beispiel kann der Roboter Sensor-Aktionen planen, die es erlauben, widersprüchliches Wissen zu entfernen.

### Von der Grundlagenforschung zur Anwendung

Die Basis dieser Methoden wurde hauptsächlich in Grundlagenforschungsprojekten, die vom FWF gefördert wurden, entwickelt. Frühere Projekte fokussierten sich auf die Diagnose und Reparatur der Hardware und der Software der Roboter, während sich das kürzlich beendete Projekt „Aktive Wissensadaption für intelligente autonome Roboter“ mit der automatischen Online-Diagnose der Wissensbasis des Roboters beschäftigte. Neben der Grundlagenforschung werden die Techniken auch direkt in realen Robotersystemen der Arbeitsgruppe angewandt. Ein System ist das Robotersystem des RoboCup Rescue Robot Studierendenteams, das an internationalen Wettbewerben teilnimmt und dessen Ziel die Unterstützung von Einsatzkräften ist, wo die Zuverlässigkeit eine große Rolle spielt. Diese Anwendung ist daher die optimale Testumgebung für diese Techniken und ermöglicht es weiter, die Studierenden mit diesen Techniken zu konfrontieren. Momentan werden im FFG-Bridge-Projekt „Garantie der Zuverlässigkeit von Service-Robotern während des gesamten Lebenszyklus“ die entwickelten Methoden für das Testen und die Überwachung in eine Flotte autonomer Transportroboter im industriellen Umfeld integriert. ■



*pair for Intelligent Autonomous Robots” dealt with the automated online diagnosis and repair of the robot’s knowledge base. Moreover, this project focused on the seamless integration of the methods in the perception-decision-execution cycle of the robot. Apart from basic research, techniques are directly utilized in running the robot systems of the research group. One of these systems is the robot system in the RoboCup Rescue Robot student team, which participates in international competitions and whose goal is to support first responders, where dependability is an important issue. This application is therefore a great test bed for the techniques and also exposes students to the methods. Currently, within the FFG bridge project “Guaranteeing Service Robot Dependability During the Entire Life Cycle”, methods which have been developed for testing and supervision are being integrated into a fleet of autonomous transport robots in an industrial setting. ■*

**Abbildung 2:**  
**Roboter Wowbagger des RoboCup Rescue Robot Teams – eine optimale Testplattform für Zuverlässigkeit.**  
*Figure 2:*  
*Robot Wowbagger of the RoboCup Rescue Robot team – an optimal test bed for dependability.*