

# **Mobile Robots in Laboratory Automation – A Contribution to Total Automation**

Dissertation

for

obtaining of the academic title

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

Faculty of Computer Science and Electrical Engineering

University of Rostock



Submitted by:

Jiahao Huang, born on 26, September 1994 in Xiangtan, China

Rostock, Germany, 2024

## Abstract

In life science laboratories, the demand for automation is increasingly high. Laboratory automation is more complex than factory automation due to the varied laboratory environments and the need to adapt to different experimental requirements. This dissertation explores the integration of mobile robot systems into complex, distributed life science laboratories to achieve total laboratory automation. The study focuses on enhancing navigation, scheduling, and integration capabilities within these environments. A significant portion of the study involves adapting mobile robot systems to meet the unique demands of life science laboratory settings, emphasizing the deployment of a versatile mobile robot, the MOLAR, designed to streamline operations across various laboratory processes.

At the robot system level, the dissertation introduces the navigation methods of mobile robots. A detailed 2D environmental map was developed using LiDAR, incorporating semantic information to aid in precise movement and interaction in a complex laboratory environment. It also includes the design of transportation tools and charging strategies, and experiments were conducted to test the practical effectiveness of the robot navigation.

At the infrastructure level, the research advanced the integration of mobile robots with the laboratory's existing WiFi network, enabling efficient communication with automated doors and elevators. This section addresses the challenges of using laboratory automatic doors and elevators by developing a dedicated GUI in C# for real-time monitoring and control of the interactions between mobile robots and the elevator system, using IoT technology for precise detection of elevator doors and floors.

At the workflow control level, the mobile robot's control system, AIC, is integrated into the laboratory's high-level Workflow Management system. The mobile robot acts as a bridge connecting distributed workstations within the laboratory, receiving transport commands from SAMI. This enables a fully automated, 24/7 operational laboratory.

This dissertation provides comprehensive insights into the methodologies used for integrating mobile robots into life science laboratories. It offers substantial contributions to the field of robotics and automation, demonstrating the potential of mobile robots to enhance laboratory accuracy, efficiency, and productivity.

## Zusammenfassung

In Lebenswissenschaftlichen Laboren steigt der Bedarf an Automatisierung stetig. Laborautomatisierung ist aufgrund der vielfältigen Laborumgebungen und der Notwendigkeit, sich an verschiedene experimentelle Anforderungen anzupassen, komplexer als die Automatisierung von Fabriken. Diese Dissertation erforscht die Integration mobiler Robotersysteme in komplexe, verteilte Labore der Lebenswissenschaften, um eine vollständige Laborautomatisierung zu erreichen. Der Schwerpunkt liegt auf der Verbesserung von Navigation, Planung und Integration innerhalb dieser Umgebungen. Ein wesentlicher Teil der Studie befasst sich mit der Anpassung mobiler Robotersysteme an die speziellen Anforderungen von Laboren der Lebenswissenschaften, wobei der Einsatz eines vielseitigen mobilen Roboters, des MOLAR, hervorgehoben wird, der darauf ausgelegt ist, Operationen in verschiedenen Laborprozessen zu optimieren.

Auf der Ebene des Robotersystems führt die Dissertation die Navigationsmethoden mobiler Roboter ein. Eine detaillierte 2D-Umweltkarte wurde unter Verwendung von LiDAR entwickelt, die semantische Informationen beinhaltet, um präzise Bewegungen und Interaktionen in einer komplexen Laborumgebung zu unterstützen. Sie umfasst auch das Design von Transportwerkzeugen und Lade strategien, und es wurden Experimente durchgeführt, um die praktische Wirksamkeit der Roboternavigation zu testen.

Auf der Infrastrukturebene hat die Forschung die Integration mobiler Roboter mit dem bestehenden WiFi-Netzwerk des Labors vorangetrieben, um eine effiziente Kommunikation mit automatischen Türen und Aufzügen zu ermöglichen. Dieser Abschnitt behandelt die Herausforderungen bei der Nutzung von automatischen Labortüren und Aufzügen durch die Entwicklung einer speziellen GUI in C# für die Echtzeitüberwachung und -steuerung der Interaktionen zwischen mobilen Robotern und dem Aufzugssystem unter Verwendung von IoT-Technologie zur präzisen Erkennung von Aufzugstüren und -etagen.

Auf der Ebene der Arbeitsablaufsteuerung ist das Steuerungssystem des mobilen Roboters, AIC, in das hochrangige Workflow-Management-System des Labors integriert. Der mobile Roboter fungiert als Brücke, die verteilte Arbeitsstationen

innerhalb des Labors verbindet und Transportbefehle von SAMI erhält. Dies ermöglicht ein vollautomatisches, rund um die Uhr betriebenes Labor.

Diese Dissertation bietet umfassende Einblicke in die Methoden zur Integration mobiler Roboter in Labore der Lebenswissenschaften und leistet bedeutende Beiträge zum Bereich der Robotik und Automatisierung. Sie demonstriert das Potenzial mobiler Roboter, die Genauigkeit, Effizienz und Produktivität von Laboren zu erhöhen.