

Design of Compact Climbing Robots for Power Plant Inspection

Doctoral Thesis

Author(s):

Fischer, Wolfgang

Publication date:

2010

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006132791>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

DISS. ETH Nr. 18975

Design of compact climbing robots for power plant inspection

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER WISSENSCHAFTEN

der
ETH ZÜRICH

vorgelegt von

Wolfgang FISCHER

Dipl.-Ing. Univ., TU München

geboren am 31. Januar 1979

in Starnberg (Deutschland)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. Roland Y. SIEGWART
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Heinz ULBRICH
Dr. Roland MOSER

2010

Abstract

Power plants and similar facilities have to be inspected regularly for maintenance and security reasons. Automating this task by using compact climbing robots can not only decrease the total inspection time, but even allows for reaching areas that were inaccessible with conventional methods. However, the number of successful industrial applications is still quite low. For this reason, the main motivation of this thesis is to deeper analyze the general applicability of this technology in the field of power plant inspection; to describe, classify and compare the most recent innovations in this field; and show their application in real business cases.

In the introduction chapter, the main functions and components of a power plant are explained, pointing to the importance of regular inspections and the advantages that can be achieved by using compact climbing robots for this task. This introduction is followed by an overlook on typical application scenarios, the most important market requirements and their influence on the functions of a compact climbing robot – concluding to the central goal within this research – to find new vehicle structures that combine high mobility and low complexity.

A general classification for most basic types of compact climbing robots is provided in the third chapter, which is structured according to the two main functions for climbing – adhesion and locomotion. It concludes with a comparison of the most common vehicle structures, which is mainly based on the business relevance in the field of power plant inspection and the relative performance that can be achieved with the most recent prototypes. According to this comparison, robots with roll-legged locomotion, passive adhesion and mechanisms that increase the mobility on specific obstacles seem to be the most promising alternative for most applications.

For this reason, the next chapter mainly deals with this type, sets the main focus on mechanisms for increasing the mobility on different types of obstacles and provides a detailed description, comparison and performance-evaluation for the most important mechanisms and vehicle concepts. The methodology of this performance-evaluation is mainly based on tests with real prototypes – or in the case of external developments also on literature, video-analysis and discussion with the researchers. In some cases, also mechanical calculation models have been established. Given the huge number of analyzed prototypes (30) and environment

challenges (43), this chapter only provides the description of the basic concepts and the rough comparison of prototypes according to their performance on the environment challenges that were taken from real power plant applications. Most technical details about prototype design, calculation models and tests can be found in the referred papers – in the case of prototypes with mayor importance, these details are also included in the corresponding case study, which can be found in the last part of this thesis.

These case-studies show the complete development process in three typical projects on inspection robots – gas tanks, steam chests and generator housings. They start with a detailed analysis of the applications - pointing both to the business-relevance for the customer and to the main environment challenges that need to be solved with innovative robot design. This specification analysis is followed by a description of the different prototype generations, focusing on the core advantages towards previous designs and how the most difficult design challenges have been solved. Each case study concludes with a summary of the core innovations, a short outlook and some “lessons-learned” for future projects. Four other projects that showed other types of challenges than the main ones, but achieved important economic and/or scientific success are summarized briefly in the last section of this chapter – generator air gaps, flying and docking in boilers, turbine inspection and power lines.

The main contributions of this work are first the description, analysis and discussion of more than 30 innovative obstacle-passing-mechanisms and vehicle structures that significantly increase the mobility of compact climbing robots. More than ten of them were developed in the context of this thesis. In addition to these descriptions, these mechanisms are structured, classified and compared among each other and towards previous technologies. Finally, this thesis shows how these solutions can successfully be applied in real power plant applications.

Zusammenfassung

Kraftwerke und ähnliche Anlagen müssen regelmässig aus Zuverlässigkeits- und Sicherheitsgründen inspiziert werden. Die Automatisierung dieser Aufgabe mithilfe von kompakten Kletter-Robotern reduziert nicht nur die Gesamt-Inspektionszeit, sondern erlaubt sogar den Zugang zu Zonen, welche mit konventionellen Methoden nicht erreicht werden können. Trotz dieser Vorteile ist die Anzahl an industriellen Anwendungen noch relativ gering. Aus diesem Grund besteht die Hauptmotivation zu dieser Arbeit darin, die generelle Nutzbarkeit dieser Technologie im Bereich der Kraftwerksinspektion zu analysieren, die aktuellsten Innovationen in diesem Forschungsfeld zu beschreiben, zu klassifizieren und zu vergleichen; und deren Anwendung anhand von realen Fallbeispielen aus dem industriellen Alltag zu erläutern.

Hierbei werden im Einleitungs-Kapitel die Hauptfunktionen und Komponenten eines Kraftwerks erklärt, wobei besonders darauf eingegangen wird, wie wichtig regelmässige Inspektionen sind und welche Vorteile hierbei mit kompakten Kletterrobotern erzielt werden können. Dieser Einleitung schliesst sich ein Überblick auf typische industrielle Anwendungen an, gefolgt von den wichtigsten Markt-Anforderungen und deren Einfluss auf die Funktionen eines kompakten Mobilroboters mit vertikaler Mobilität. Hieraus wird auf die zentralen Ziele innerhalb dieser Forschung geschlussfolgert – neue Fahrzeug- und Antriebs-Strukturen zu finden, welche eine hohe Mobilität bei geringer Komplexität ermöglichen

Eine umfassende Klassifizierung für die grundlegenden Bauformen bei kompakten Kletterrobotern wird im dritten Kapitel präsentiert. Die Struktur orientiert sich hierbei an den beiden Hauptfunktionen für das Klettern – Haftung und Fortbewegung. Am Schluss dieses Kapitels steht ein Vergleich von aktuellen Fahrzeugstrukturen und Prototypen, welcher hauptsächlich auf Kundenanforderungen im Bereich der Kraftwerksinspektion basiert, sowie auf der relativen Leistungsfähigkeit, die mit den neuesten Prototypen erreicht wird. Gemäss diesem Vergleich erscheinen Roboter mit rollförmiger Fortbewegung (Räder, Raupenkettensysteme oder felgenreife Räder/Whegs), passivem Haftprinzip und zusätzlichen Mechanismen zur Überwindung von spezifischen Hindernissen als am aussichtsreichsten für die meisten Anwendungen.

Aus diesem Grund befasst sich das nächste Kapitel hauptsächlich mit dieser Gruppe, setzt den Fokus auf Mechanismen zur Erhöhung der Mobilität an verschiedenen Arten von Hindernissen und liefert detaillierte Beschreibungen, Vergleiche und Leistungsbewertungen für die wichtigsten Mechanismen und Fahrzeug-Konzepte. Die Methodik dieser Leistungsbewertung basiert hauptsächlich auf Versuchen mit realen Prototypen – oder im Fall von externen Entwicklungen manchmal auch auf Literaturrecherche, Videoanalyse und/oder Diskussion mit den Forschern. In einigen Fällen wurden auch mechanische Berechnungsmodelle erstellt. In Anbetracht der grossen Anzahl an analysierten Prototypen (30) und Kundenanforderungen (43) liefert dieses Kapitel allerdings nur die Beschreibung der grundlegenden Konzepte und den groben Vergleich der Prototypen anhand ihrer Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Kundenanforderungen aus den analysierten Industrie-Anwendungen. Die technischen Details zur Ausle-

gung einzelner Komponenten, die Berechnungsmodelle und die Dokumentation der Experimente können in den zitierten wissenschaftlichen Publikationen nachgeschlagen werden – bei den Prototypen mit besonders hoher industrieller Relevanz sind die wichtigsten technischen Details auch in der entsprechenden Fallstudie beschrieben, welche sich im letzten Kapitel dieser Arbeit finden.

Diese Fallstudien zeigen den vollständigen Entwicklungsprozess in drei repräsentativen Projekten zu Inspektions-Robotern – Gas-Tanks, Einströmkästen vor Dampfturbinen (steam chests) und Gehäuse von Generatoren. Sie starten jeweils mit einer detaillierten Analyse der Anwendung, wobei sowohl auf die wirtschaftlichen Vorteile für den Kunden als auch auf die wichtigsten technischen Herausforderungen eingegangen wird, welche mit innovativem Roboter-Design gelöst werden sollen. Dieser Diskussion der Spezifikationen folgt eine Beschreibung der verschiedenen Prototyp-Generationen, wobei besonderer Wert auf die zentralen Vorteile gegenüber bisherigen Bauformen gelegt wird, sowie darauf, wie bestimmte Detail-Probleme im Bereich des Antriebsstrangs gelöst wurden. Jede Fallstudie endet mit einer Zusammenfassung über die zentralen Innovationen, liefert einen Ausblick auf nachfolgende Forschungstätigkeiten und legt dar, was für zukünftige ähnliche Projekte gelernt werden kann. Zusätzlich zu den drei Haupt-Projekten werden auch noch vier weitere kurz erwähnt, bei denen besondere Erfolge in der wirtschaftlichen Umsetzungen und bei den wissenschaftlichen Publikationen erzielt wurden – auch wenn die technischen Herausforderungen und Innovationen einen weniger starken Bezug zu den zentralen Forschungszielen im vorherigen Kapitel haben. Diese Projekte behandeln innovative Roboter für die Inspektion von Generatoren, Kohle-Brennkammern, Gas-Turbinen und Hochspannungsleitungen.

Der zentrale wissenschaftliche Beitrag dieser Arbeit besteht in der Beschreibung, der Analyse und der detaillierten Diskussion von über 30 innovativen Mechanismen zur Überwindung von Hindernissen, sowie Fahrzeugstrukturen die signifikant zur Erhöhung der Mobilität von kompakten Kletterrobotern beitragen. Mehr als zehn davon wurden im Zusammenhang dieser Arbeit neu entwickelt. Zusätzlich zu dieser Beschreibung werden diese Mechanismen auch das erste Mal strukturiert dargestellt, klassifiziert und verglichen – sowohl untereinander als auch im Vergleich zu vorherigen Technologien. Des Weiteren wird gezeigt, wie diese Lösungen erfolgreich in realen Industrie-Anwendungen im Bereich Kraftwerks-Inspektion eingesetzt werden können.