



Doctoral Thesis

On the diversity of elasticity exploration for legged robot locomotion

Author(s):

Günther, Fabian S.

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010796963> →

Rights / License:

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

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 23609

On the diversity of elasticity exploration for legged robot locomotion

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

FABIAN SIEGFRIED GÜNTHER
MSc ETH ME, ETH Zurich

born on 25 December 1984
citizen of Germany

Committee:

Prof. Dr. Fumiya Iida, examiner
Prof. Dr. Roland Siegwart, co-examiner
Prof. Dr. Mirko Meboldt, co-examiner

2016

Abstract

Legged mobile robots can negotiate unstructured terrain, jump over obstacles, and climb on rocks, trees, or buildings. With the ability to go where no wheeled robot can go, legged mobile robots can fulfill a large variety of tasks from household over exploration up to search and rescue missions. However, beside the impressive advances legged robots experienced over the past decades, their performance is still moderate when compared to their biological counterparts. Terrestrial animals cover a similar range of tasks than legged robots, but are still far superior in terms of speed, efficiency, agility and robustness.

Legged locomotion in general requires constant acceleration and deceleration of all parts of the body, which leads to fluctuations in kinetic energy and is a challenge for every actuation system. Most of today's robotic actuators work best at constant speed, and permanent speed changes complicate their control and lower their possible power output and energy efficiency. A way to negotiate this problem is shown by nature, which demonstrates that elastic elements like tendons are an approach to store and recoil energy, which can lead to increased performance and energy efficiency. In legged robots, springs can act as such elastic elements, and many successful concepts for spring implementation have been developed so far. However, exploration of springs in legged robots is still an ongoing process and many possible applications of springs are yet not sufficiently investigated.

In this dissertation, we introduce the general concept of *springy dynamics* to describe different ways springs can be employed in robotic legs. Based on the assumption that an understanding of all possible dynamics is necessary to successfully make use of springs in legged robots, we aim to extend the existing knowledge containing mainly series elastic and passive springy dynamics by investigating two alternative dynamics, namely the preloading and the parallel elastic dynamic.

As a starting point, we extend a conventional series elastic actuator with discrete couplings, which allow for switching between different springy and non-springy dynamics. Based on this mechanism, we then investigate the preloading dynamic, where the leg is locked during flight and the actuator preloads its spring, whose energy is then released during the subsequent stance phase. The series elastic dynamic is used as a comparison to demonstrate that the preloading dynamic can lead to better actuator performance, for example larger hopping height at limited actuator peak force. As a second dynamic, we then investigate parallel elastic actuation. By making use of a specialized robot platform, we demonstrate how the parallel spring can not only improve robustness in open loop monopod running, but also increase energy efficiency of a heavy payload carrier due to body weight support. Together with the very general approach of the coupling extended series elastic actuator from the first part of this dissertation, the specialist robots from the second part represent the whole bandwidth of spring implementation from general to specific approaches.

Kurzfassung

Laufroboter können sich in sowohl schwierigem Gelände fortbewegen als auch über Hindernisse hinwegspringen oder Felsen, Bäume und Häuserfassaden hinaufklettern. Durch ihre Fähigkeit an Orte vorzustossen die kein Rad- oder Raupenfahrzeug jemals erreichen kann bieten sich Laufroboter für eine Vielzahl von Aufgaben an, welche von Hausarbeit über die Erkundung unbekannter Gebiete bis hin zu Rettungsmissionen reichen. Dennoch, trotz beeindruckender Fortschritte in den letzten Jahrzehnten, können Laufroboter noch nicht annähernd mit ihren biologischen Gegenstücken mithalten. Lauf- und Kriechtiere haben einen ähnlichen Einsatzbereich wie Laufroboter, jedoch sind sie ihnen in Sachen Geschwindigkeit, Effizienz, Agilität und Robustheit immer noch haushoch überlegen.

Laufende Fortbewegung im Allgemeinen verlangt nach dem ständigen Beschleunigen und Abbremsen aller Körperteile, was zu Schwankungen in der kinetischen Energie und zu zusätzlichen Belastungen für die Antriebe führt. Heutige Antriebe funktionieren, ganz im Gegensatz zu Muskeln, am besten bei konstanter Geschwindigkeit, und ständige Geschwindigkeitsänderungen verkomplizieren ihre Regelung, reduzieren die mögliche Leistungsabgabe und verringern die Energieeffizienz. Die Natur löst dieses Problem durch den Einsatz von elastischen Elementen wie Sehnen und Bändern, deren Möglichkeit zur Energiespeicherung sowohl Leistungsabgabe wie auch Energieeffizienz verbessern können. In Laufrobotern können Federn als elastische Elemente eingesetzt werden, und in den vergangenen Jahrzehnten wurden dafür verschiedene erfolgreiche Konzepte entwickelt. Trotzdem ist die Erforschung von Federn für Laufroboter noch längst nicht abgeschlossen, und viele mögliche Anwendungen von Federn sind noch nicht oder noch nicht ausreichend erforscht.

In dieser Dissertation benutzen wir das Konzept der *Federdynamiken*, um verschiedene Einsatzmöglichkeiten von Federn in Roboterbeinen zu beschreiben. Unser Ansatz basiert auf der Annahme, dass eine erfolgreiche Implementierung von Federn in Laufrobotern ein Verständnis aller Federdynamiken verlangt. Als Ergänzung zum bestehenden Wissen, welches hauptsächlich serielle und passive Federdynamiken umfasst, erforschen wir mit der Vorspanndynamik und der parallelen Dynamik zwei alternative Federdynamiken.

Wir starten dafür mit einem konventionellen, seriell elastischen Antrieb und ergänzen diesen durch Kupplungen, welche den Wechsel zwischen verschiedenen Feder- und Nichtfederdynamiken erlauben. Basierend auf diesem Mechanismus beschreiben wir die Vorspanndynamik, bei der der Motor die Feder des blockierten Beines in der Flugphase vorspannt. Die so gespeicherte Energie kann dann für die nachfolgende Standphase verwendet werden. Anhand der seriell elastischen Dynamik als Referenz zeigen wir, dass die Vorspanndynamik zu besserer Performance, namentlich zu höherer Sprunghöhe bei limitierter Motorenkraft führt. Als zweite Dynamik behandeln wir anschliessend die parallel elastische Dynamik. Mithilfe einer spezialisierten Roboterplattform zeigen wir, dass die parallele Feder nicht nur die Robustheit im open-loop gesteuerten einbeinigen Rennen verbessern kann, sondern auch bessere Energieeffizienz bei hoher Zusatzlast erlaubt. Zusammen mit dem allgemeinen Ansatz des kupplungsbasierten, seriell elastischen Antriebes decken die spezialisierten, parallel elastischen Roboter die gesamte Bandbreite der Federnutzung ab, vom allgemeinen bis hin zum spezifischen Ansatz.