



Doctoral Thesis

Modeling and optimization of bio-inspired magnetically actuated swimming microrobots

Author(s):

Peyer, Kathrin Eva

Publication Date:

2013

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010060159> →

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. 21611

Modeling and Optimization of Bio-Inspired Magnetically Actuated Swimming Microrobots

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Kathrin Eva Peyer

MSc in Mechanical Engineering, ETH Zurich
born on November 12, 1982
Citizen of Willisau (LU), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Bradley J. Nelson, examiner,
Prof. Jake J. Abbott, co-examiner,
Prof. Fumiya Iida, co-examiner,
Prof. Li Zhang, co-examiner

2013

Abstract

Remote controlled microrobots have the potential to be used as minimally invasive diagnostic or therapeutic instruments, carriers for targeted drug delivery or as probing tools in single cell manipulation and investigation. The challenge is to find microrobots that have locomotion and actuation methods suitable for navigating the fluidic environments encountered in many biomedical applications. Nature has evolved many types of microscopic swimmers that provide inspiration for robotic locomotion methods.

In this thesis, bio-inspired swimming microrobots are investigated. The focus lies on the modeling, testing and optimization of microrobots actuated by a rotating magnetic field. Microswimmers are presented, which have been inspired by organisms found in nature. Two such robot prototypes are studied, namely the artificial bacterial flagellum (ABF) and the artificial frog sperm (AFS). Similar to the *E. coli* bacterium, the ABF uses a helical tail for propulsion, and the microrobot's swim performance is evaluated and compared in water and fibrous fluids. The AFS is a new type of microrobot inspired by a green tree frog sperm. Its conical body shape allows the catch-and-release of micro-objects.

In addition, evolution itself is the source of inspiration and new robot designs are found by means of an evolutionary algorithm. Different microrobot designs emerged from the evolutionary algorithm depending on the definition of the fitness function, which represents how 'optimal' a robot design is. Interestingly, not only helical shapes emerge from the algorithm, but also a new type of microrobot shape has been found that outperforms the helix in terms of maximizing the forward displacement per rotation.

Zusammenfassung

Ferngesteuerte Mikroroboter heben den Begriff der minimal-invasiven Medizin auf eine neue Ebene. Diese kleinsten Agenten können Medikamente gezielt im Körper abgeben indem sie an die gewünschte Stelle gesteuert werden. Nicht nur in der Medizin, sondern auch in der Biologie haben Mikroroboter Anwendungsbereiche, zum Beispiel in der Erforschung von Einzeller oder mikroskopischen Prozessen. Die Herausforderungen, die sich beim Gestalten von Mikrorobotern stellen, sind vielschichtig. Es müssen Möglichkeiten gefunden werden, damit sich der Mikroroboter in einer flüssigen Umgebung fortbewegen kann. Des Weiteren sind Antriebssysteme notwendig, mit denen der Mikroroboter mit Energie versorgt werden kann. In der Natur haben sich viele Organismen entwickelt, die sich trotz ihrer mikroskopischen Grösse erfolgreich fortbewegen können. Deswegen ist die Natur eine Inspirationquelle für das Design von Mikrorobotern.

In dieser Arbeit werden schwimmende Mikroroboter untersucht, deren Form und Fortbewegungsart von der Natur inspiriert sind. Der Hauptmerk liegt auf dem Modellieren, Testen, und Optimieren von Mikrorobotern, die ein von aussen angelegtes rotierendes Magnetfeld als Energiequelle benutzen. Mikroroboter, die direkt von der Natur inspiriert sind, werden zuerst vorgestellt. Die zwei Roboter-Designs heissen “künstliches bakterielles Flagellum” und “künstliches Frosch-Spermium”. In einem weiteren Schritt wird die Evolution selber zur Inspiration. Mit einem evolutionären Algorithmus werden Mikroroboter optimiert. Die Form des “optimalsten” Roboters hängt von der Wahl der Fitnessfunktion ab, die bestimmt, welche Schwimmeigenschaften als optimal eingestuft werden. Wenn die Optimierung darauf zielt, dass der Roboter eine möglichst grosse Distanz pro Umdrehung zurücklegt, wird interessanterweise eine ganz neue Roboterform gefunden, die besser ist als die traditionelle Helixform.