



Doctoral Thesis

Design and Optimization of Magnetic Manipulation Systems for Biomedical Applications

Author(s):

Erni, Sandro

Publication Date:

2015

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010564596> →

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. 22894

Design and Optimization of Magnetic Manipulation Systems for Biomedical Applications

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

presented by

Sandro Erni

M Sc in Nanosciences, University of Basel

born on 14.07.1984

Citizen of Ruswil (LU), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Bradley J. Nelson, examiner,
Prof. Christian Hafner, co-examiner

2015

Abstract

Wireless manipulation of devices at the millimeter and micrometer scale is an emerging field of research. Potential applications of the technology include areas of science and medicine, where small devices can be used for micromanipulation, as surgical tools for minimally invasive surgery, or as carriers for targeted drug delivery. Actuation and locomotion of the micro-devices can be achieved with externally applied magnetic fields and gradients, which induce torques and forces on a magnetized object. This method requires a control system to generate magnetic fields and gradients.

This dissertation presents the design and optimization of systems for wireless magnetic manipulation. The systems consist of electromagnets arranged around a workspace, where the desired magnetic fields and gradients can be generated. A software library is built to create, test, and evaluate virtual system designs. Different magnetic manipulation systems are presented in this thesis, which are designed for specific applications.

A system is proposed for controlling microrobots to assist in cleaning the inside of a catheter. The system design is simple due to the confined environment the robots are moved in. OctoMag is an existing manipulation system prototype for minimally invasive ophthalmic surgery. It is redesigned and optimized for *in vivo* animal trials. The access to the workspace and the portability of the system are improved in the new design. MiniMag is a tabletop manipulation system used for protein crystal harvesting. The design is optimized to provide increased magnetic fields at the location of manipulation by the addition of specially designed tips. Finally, OphthoMag is a newly developed magnetic manipulation system. It is designed for minimally invasive surgery in the human head, mainly ophthalmic and neurological surgery. It provides a workspace large enough for the human head, allows access for a lying patient, and integrates with surgical imaging instrumentation.

The design of a magnetic manipulation system highly depends on the intended application of the system, as each application scenario has its own requirements. This thesis shows how the performance and geometry of a system can be optimized toward its application.

Zusammenfassung

Die drahtlose Steuerung von millimeter- bis mikrometer-grossen Objekten ist in der Forschung von grossem Interesse. Die Technologie findet mögliche Anwendungen in vielen Bereichen der Wissenschaft und der Medizin, wo kleine Objekte als chirurgische Werkzeuge in minimal-invasiven Operationen oder als Träger für gezielte Pharmakotherapie verwendet werden können. Antrieb und Fortbewegung der Mikro-Objekte kann mit von aussen angelegten Magnetfeldern und Gradienten realisiert werden. Diese induzieren Drehmomente und Kräfte auf ein magnetisiertes Objekt. Diese Methode benötigt ein Steuerungssystem zur Erzeugung von Magnetfeldern und Gradienten.

Diese Dissertation zeigt die Planung und die Optimierung von Systemen für magnetisch gesteuerte Objekte. Diese Systeme bestehen aus mehreren Elektromagneten, welche um ein Arbeitsvolumen angeordnet werden. Innerhalb dieses Volumens können gezielt Magnetfelder und Gradienten erzeugt werden. Um virtuelle Systeme zu erzeugen, zu testen und zu beurteilen wird eine Software-Bibliothek aufgebaut. Unterschiedliche Systeme zur magnetischen Steuerung für bestimmte Anwendungen werden in dieser Arbeit präsentiert.

Ein System ist vorgesehen für Mikroroboter, die bei der Reinigung der Innenseite von Kathetern helfen sollen. Das System ist in der Form relativ simpel, da die Roboter durch den Katheter seitlich eingeschlossen sind. Der OctoMag ist ein bestehender Prototyp für magnetische Manipulation in minimal-invasiven Augenoperationen. Dieser wird für Tierversuche überarbeitet und optimiert. Im neuen Design sind der Zugriff zum Arbeitsvolumen und die Transportfähigkeit des Systems verbessert. Der MiniMag ist ein kleineres Gerät, welches bei der Gewinnung von Protein-Kristallen verwendet wird. Durch die Entwicklung von Aufsätzen auf die Elektromagnete kann die Stärke des Magnetfeldes für die Manipulation erhöht werden. Der OphthoMag ist schliesslich ein neu entwickeltes System für magnetische Steuerung. Es ist für minimal-invasive Operationen am menschlichen Kopf konzipiert, vor allem für Augen- und Gehirnoperationen. Das Arbeitsvolumen bietet genügend Platz für einen menschlichen Kopf und chirurgische Bildgebungs-Apparaturen können in das System integriert werden.

Die Form eines Systems für magnetische Steuerung hängt stark von der geplanten Anwendung ab, da jedes Szenario ganz bestimmte Voraussetzungen mitbringt. Diese Arbeit zeigt auf, wie die Leistung und die Geometrie eines Systems bezüglich seiner Anwendung optimiert werden kann.