



Doctoral Thesis

MagMites
design, fabrication, and control of wireless resonant magnetic micromachines for dry and wet environments

Author(s):

Frutiger, Dominic R.

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006510916> →

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. 19376

MagMites:
Design, Fabrication, and
Control of Wireless Resonant
Magnetic Micromachines for
Dry and Wet Environments

DISSERTATION

for the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

submitted to

ETH ZURICH

presented by

DOMINIC R. FRUTIGER

Dipl. Masch.-Ing., ETH Zurich

born on

December 20, 1976

citizen of

Ringgenberg (Bern), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Bradley J. Nelson, ETH Zurich, examiner,
Prof. Nicolas Chaillet, Université de Franche-Comté, co-examiner

2010

Abstract

Primary challenges in the building of untethered submillimeter sized robots include propulsion methods, power supply, and control. Based on previous work on the Wireless Resonant Magnetic Micro-actuation principle a large number of mobile micro agents called *MagMites* have been designed, built, characterized, modeled, and successfully controlled with the purpose of handling micro objects in dry and wet environments. The term *MagMite* is derived from *Magnetic Mite*—a tribute to the underlying magnetic propulsion principle and the micro-scale dimensions of the robot. The device harvests magnetic energy from the environment and effectively transforms it into inertia- and impact-driven mechanical force. It can be powered and controlled with oscillating fields in the kHz range and strengths as low as 2 mT. With dimensions less than $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ and a total mass of 30–50 μg these agents are capable of moving forward, backward and turning in place while reaching controllable speeds in excess of 12.5 mm/s or 42 times the robot’s body length per second.

In this work it is demonstrated how the micromachines exhibit a plethora of driving behaviors and operate on a host of unstructured surfaces under both dry and wet conditions. Various micro-objects ranging from beads to biological entities have been successfully manipulated in a fully automated fashion. Multi-agent studies have shown great promise to be used in cooperative tasks and it is shown how the principle can be extended to agents capable of untethered and self-propelled three-dimensional motion in fluids. Many platforms based on impulsive actuation have been suggested before, but none of them combined all the features that are required for a truly mobile and flexible sub-millimeter robot suitable for multi-agent applications in an unstructured environment. The *MagMites* offer an exceptionally wide range of behaviors and exhibit an overall degree of controllability, performance, and flexibility unmatched by other microrobots demonstrated thus far. It is conceivable that combining this principle with other technologies could enable new applications of magnetically actuated micromachines in the medical field.

Zusammenfassung

Die grösste Herausforderung bei der Konstruktion von frei beweglichen Robotern mit Dimensionen unter einem Millimeter ist die Entwicklung geeigneter Methoden zur Fortbewegung, Energieversorgung und Steuerung. Basierend auf vorgängigen Erkenntnissen zum Prinzip der berührungsfreien resonanten magnetischen Mikroaktuation wurde eine grosse Zahl von mobilen Mikroagenten, die sogenannten *MagMites* entwickelt, gebaut, charakterisiert und erfolgreich betrieben mit dem Zweck der Manipulation von Mikroobjekten in trockener und nasser Umgebung. Der Begriff *MagMite* steht kurz für *Magnetic Mite* (engl. für magnetische Milbe) und erinnert an das magnetische Aktuationsprinzip sowie die mikroskopischen Dimensionen des Roboters. Der Mechanismus verwendet die magnetische Energie der Umgebung und wandelt diese direkt in trägheits- und impulsgetriebene mechanische Kraft um. Er kann mit schwingenden Feldern im Kilohertzbereich und Stärken von nur 2 mT betrieben werden. Mit Dimensionen von weniger als $300\ \mu\text{m} \times 300\ \mu\text{m} \times 70\ \mu\text{m}$ und einer totalen Masse von 30–50 μg sind die Agenten in der Lage, vorwärts und rückwärts zu fahren, sich an Ort zu drehen, und dabei kontrollierte Geschwindigkeiten von über 12.5 mm/s oder 42-mal die eigene Körperlänge pro Sekunde zu erreichen. In der vorliegenden Arbeit wird demonstriert, welch vielfältiges Fahrverhalten die Mikromaschinen aufweisen und wie sie auf zahlreichen unstrukturierten Oberflächen sowohl unter trockenen als auch nassen Bedingungen betrieben werden können. Verschiedenste Mikroobjekte von Glasperlen bis hin zu biologischen Entitäten wurden erfolgreich vollautomatisch manipuliert. Mehragentenstudien zeigen vielversprechende Möglichkeiten auf für die Verwendung in kooperativen Aufgaben. Es wird dargelegt, wie das Prinzip auf mobile Agenten für die dreidimensionale Fortbewegung in Flüssigkeiten ausgeweitet werden könnte. Zahlreiche Plattformen basierend auf impulsiver Aktuation wurden schon vorgeschlagen, doch hat bisher keine davon alle Eigenschaften auf sich vereinigt, die für echte Mobilität von flexiblen Robotern mit Dimensionen unter einem Millimeter mit der Befähigung zu Mehragentenanwendungen in einer unstrukturierten Umgebung benötigt werden. Die *MagMites* bieten ein ausserordentlich breites

Verhaltensspektrum und weisen eine Steuerbarkeit, Leistungsfähigkeit und Flexibilität auf die bisher von keinen anderen Mikrorobotern erreicht wurden. Es ist gut vorstellbar, dass die Verbindung dieses Prinzips mit anderen Technologien neue Anwendungen von magnetisch betriebenen Mikromaschinen im Bereich der Medizin ermöglichen könnte.