



Doctoral Thesis

Shape adaptation through soft-matter extended phenotype enhances robots' functionality

Author(s):

Wang, Liyu

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010191049> →

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. 21930

SHAPE ADAPTATION THROUGH SOFT-MATTER EXTENDED PHENOTYPE ENHANCES ROBOTS' FUNCTIONALITY

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

presented by

LIYU WANG

M. Sc., University of Oxford

born on 09.06.1984
citizen of China

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Fumiya Iida, examiner
Prof. Dr. Bradley Nelson, co-examiner
Prof. Dr. Ronald S. Fearing, co-examiner
Prof. Dr. Jamie K. Paik, co-examiner

2014

Abstract

Shape adaptation is important for robots carrying out tasks in hazard environments or extraterrestrial planets. In these environments task conditions cannot be anticipated, and a robot with a fixed shape may find physical constraints. If a robotic system can change its shape, it will be more self-sufficient to function in unanticipated task environments. Early work on shape adaptation relied on passive conformation between soft grippers and rigid objects. In the last 20 years, research has shown that the shape of a robotic system can be actively changed through self-reconfiguration of robotic modules or controlled deformation of soft matter. However, challenges exist due to inflexible connection between modules, and the lack of variability and quality in shapes. As a result, superior functions over conventional robots have merely been demonstrated.

To tackle the challenges, the dissertation proposes a conceptual framework of “Soft-Matter Extended Phenotype”, which resembles animals’ behaviour of constructing and using structures. In the framework, a robotic system includes soft matter, passively or actively forms structures out of the soft matter, integrates the structures, and uses them for different task environments. It is hypothesized that the concept will help enhancing robots’ functionality, because of intrinsic plasticity and adhesion of soft matter as well as the fact that shape adaptation can be realized by construction behaviour of the robot.

The contributions of the dissertation are threefold. Firstly, it identifies three design principles for Soft-Matter Extended Phenotype, which are: (1) Phase transition is important for formation of extended phenotype; (2) Tradeoff between adhesion and modulus of soft matter needs to be considered depending on tasks; and (3) material handling tools need to be simple and compact. Secondly, it presents hardware for robotic locomotion and manipulation based on a type of soft matter i.e. thermoplastic adhesive (TPA) or hot-melt adhesive (HMA). The hardware includes: (1) climbing robots with extended footpads for complex vertical environments; (2) a dragline-forming mobile robot for the use in an open space; and (3) robot manipulators with extended end-effectors for pick-and-place of liquid and solid objects. Thirdly, it analyzes the behaviour of TPA-based Extended Phenotype in robotic locomotion and manipulation. Analysis focuses on the process of formation and physical task execution. For example, duration of the formation process is analyzed with the dragline-forming robot and the robot manipulator, where results from real-world experiments are compared to thermodynamics models; and pick-and-place behaviour with extended end-effectors is analyzed using solid mechanics models.

Kurzfassung

Formanpassung ist wichtig für Roboter welche Aufgaben in gefährlichen Umgebungen oder auf fremden Planeten ausführen sollen. In solchen Umgebungen können die Bedingungen für die Aufgaben nicht vorhergesehen werden und ein Roboter mit fixer Form kann an seine physische Grenzen kommen. Falls ein Roboter seine Form ändern kann, wird er in einer unbekanntem Umgebung selbst ändiger funktionieren. Frühe Arbeiten zur Formanpassung basierten auf der passiven Anpassung von weichen Greifern an harte Objekte. In den vergangenen zwanzig Jahren hat die Forschung gezeigt, dass die Form eines Robotersystems aktiv geändert werden kann, beispielsweise durch Selbstrekonfiguration von Robotermodulen oder durch die kontrollierte Deformation von weichen Materialien. Herausforderungen bestehen jedoch aufgrund von unflexiblen Verbindungen von Modulen und unzureichender Variabilität und Qualität der Formen. Daraus resultiert, dass eine verbesserte Funktionalität verglichen mit herkömmlichen Robotern kaum je demonstriert wurde.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, schlägt diese Dissertation einen konzeptionellen Rahmen zum erweiterten Phänotyp durch weiche Materialien vor, welcher dem Verhalten von Tieren gleicht, Strukturen zu bauen und verwenden. In diesem Konzept enthält ein Robotersystem weiche Materialien, bildet passiv oder aktiv Strukturen aus diesem weichen Material, integriert diese Strukturen und verwendet sie für unterschiedliche Aufgabenstellungen. Es wird die Hypothese aufgestellt, dass das Konzept hilft, die Funktionalität von Robotern zu verbessern. Dies aufgrund der intrinsischen Plastizität und Adhäsion von weichen Materialien wie auch anhand der Tatsache, dass Formanpassung mittels Konstruktion durch den Roboter realisiert werden kann.

Die Beiträge dieser Dissertation sind dreierlei. Erstens identifiziert sie drei Gestaltungsprinzipien für erweiterte Phänotypen mit weichen Materialien, nämlich: (1) Phasenübergänge sind wichtig für die Entstehung von erweiterten Phänotypen; (2) Die Abstimmung zwischen Adhäsion und Moduln des weichen Materials muss abhängig von der Aufgabe erfolgen; (3) Werkzeuge zur Materialhandhabung müssen einfach und kompakt sein. Zweitens präsentiert sie Geräte für Roboter zur Fortbewegung und Handhabung basierend auf einem Typ weichen Materials, nämlich thermoplastischen Klebstoffe (thermoplastic adhesive, TPA) bzw. Heisskleber (hot-melt adhesive, HMA). Diese Geräte beinhalten: (1) Kletterroboter mit erweiterten Standflächen für komplexe vertikale Umgebungen; (2) ein Tragseil-bildender mobiler Roboter für den Gebrauch im freien Raum; und

(3) Roboter manipulieren mit erweiterten Endeffektoren für das Greifen und Platzieren von flüssigen und festen Objekten. Drittens analysiert diese Dissertation das Verhalten von TPA-basierten erweiterten Phänotypen in der Roboterfortbewegung und Roboter manipulation. Die Analyse fokussiert auf den Prozess der Konstruktion und die physische Ausführung der Aufgabe. Beispielsweise wird die Dauer des Herstellungsprozesses anhand des Tragseil-bildenden Roboters und des Roboter manipulators analysiert, wobei die experimentellen Resultate mit thermodynamischen Modellen verglichen werden und das Greif- und Platzierverhalten mit erweiterten Endeffektoren anhand von Festkörpermechanik-Modellen analysiert wird.