

Aerial Construction: Robotic Fabrication of Tensile Structures with Flying Machines

Doctoral Thesis

Author(s):

Ammar, Mirjan

Publication date:

2016

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010881983>

Rights / license:

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

DISS. ETH NO. 23503

Aerial Construction

Robotic Fabrication of Tensile Structures with Flying Machines

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

presented by
Ammar Mirjan
M.Arch / DipArch, University College London

born on 16.03.1984
citizen of Aadorf TG

accepted on the recommendation of
Prof. Matthias KOHLER
Prof. Fabio GRAMAZIO
Prof. Dr. Raffaello D'ANDREA
Ass. Prof. Dr. Axel KILIAN

2016

Abstract

This thesis investigates the architectural potential of aerial construction using flying robots. Because aerial robots are kinematically decoupled from their environment, they offer distinctly new forms of construction as compared to conventional ground-based construction devices. First, the range of aerial robots is not limited by their size, making them capable of operating at full architectural scale. Second, their ability to move autonomously through and around existing structures makes them ideal for intertwining building material. When these abilities are combined with control algorithms that enable the aerial robots to cooperate and perform construction tasks together, entirely new building forms become possible. Ultimately, the three-dimensional freedom of aerial robots enables them to build structures that conventional machines cannot.

This thesis positions aerial robotic construction as a new research topic situated within the traditions of digital fabrication and architecture. The research analyses the specific constraints of aerial robotic construction as a design space, and the specific abilities and constraints of aerial robots as a construction tool that can move freely through the air. The thesis subsequently identifies spatial interweaving of tensile rope structures as an appropriate construction technique for building load-bearing architectural structures, and lays out a methodological framework for designing and constructing airborne tensile structures using quadcopters. A series of building experiments validate the developed techniques and describe a coherent design and construction process. Ultimately this research brings forward a new perspective on the spatial aggregation of material using robotic processes, and on digitally fabricated architecture as a whole.

Abstract

Im Zentrum der Arbeit steht die Untersuchung des architektonischen Potenzials von Bauprozessen mit fliegenden Robotern. Im Gegensatz zu fest installierten, auf dem Boden stehenden Maschinen, sind Flugroboter nicht an einen statischen Arbeitsbereich beschränkt, sondern können sich frei im Luftraum bewegen. Damit wird eine völlig neue Räumlichkeit der computergesteuerten Fertigung in Aussicht gestellt. Das heisst, der Bauraum von Flugrobotern ist nicht auf die eigene Grösse begrenzt. Vielmehr kann dieser nahezu beliebig ausgedehnt werden – bis hin zum architektonischen Realmassstab. Zudem können Flugroboter digital gesteuert werden; sie können daher autonom operieren, gezielt kooperieren und komplexe Bauaufgaben ausführen. Darüber hinaus führt die erweiterte Erschliessung des Bauraumes zu einer neuartigen konstruktiven Autonomie: Material kann vollkommen frei im Raum platziert werden und gebaute Strukturen können von den Flugrobotern um- und durchflogen werden. Das Bauen mit fliegenden Robotern geht über konventionelle Ansätze der digitalen Fabrikation hinaus und erlaubt dreidimensionale Bauprozesse, die bisher unmöglich waren.

Das Bauen mit fliegenden Robotern stellt einen vollkommen neuen Forschungsansatz in der Architektur dar. Die vorliegende Arbeit positioniert dieses Thema als Teilgebiet der digitalen Fabrikation und untersucht die zugrundeliegenden Entwurfs- und Konstruktionsansätze, die für einen solchen Ansatz notwendig sind. Hierin zeigt die Arbeit auf, dass gerade die Assemblierung von Seilnetzstrukturen einen interessanten, geradezu idealen konstruktiven Ansatz für das Bauen mit Flugrobotern darstellt. Infolgedessen werden experimentelle Methoden und Techniken vorgestellt, um geometrisch komplexe Seilnetzstrukturen mit fliegenden Robotern zu entwerfen und bauen zu können. Dabei steht die wechselseitige Verknüpfung von Entwurf und Fertigung zentral, ebenso wie die Umsetzung im architektonischen Massstab. Dies erlaubt nicht nur eine gänzlich neue räumliche Perspektive auf zukünftige roboterbasierte Bauprozesse, sondern ebenso auf digital fabrizierte Architektur insgesamt.