

This is the author's copy of the publication as archived with the DLR's electronic library at <http://elib.dlr.de>. Please consult the original publication for citation.

Behavior Trees für Missionsmanagement von hochfliegenden Solarplattformen

Andreas Klöckner; Daniel Schlabe

Hochfliegende Solarplattformen werden in den letzten Jahren verstärkt für satelliten-ähnliche Anwendungen untersucht. Erste Prototypen demonstrierten bereits 14-tägige Flüge in der Stratosphäre. Die dafür erforderliche Bodenmannschaft besteht allerdings aus bis zu fünf hochausgebildeten Ingenieuren, die das Fluggerät rund um die Uhr bedienen müssen. Um eine kommerzielle Nutzung von Höhenplattformen zu ermöglichen, ist daher eine weitgehende Automatisierung der Missionsführung unabdingbar. Diese Arbeit untersucht die Möglichkeiten der aus der Computer-Spiele-Industrie stammenden Behavior Trees für diese Anwendung. Notwendige Erweiterungen des Formalismus werden vorgestellt und evaluiert. Durch den modularen und zielgerichteten Aufbau der Missionspläne wird der Endnutzer insbesondere bei der Erstellung von hardwarenahen Aktionen und bei der Absicherung des Plans gegen Fehlerfälle entlastet. Ein gültiger Missionsplan kann dann sowohl durch unerfahrene Nutzer als auch durch weitere Automatisierung generiert werden.

Copyright Notice

©2017 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

This is the unpublished abstract of a conference talk, which the author hereby releases to the public according to the terms of the DLR elib archive.

Citation Notice

```
@Conference{kloeckner2017behavior,
author   = {Andreas Klöckner and Daniel Schlabe},
title    = {{B}ehavior {T}rees f\ur {M}issionsmanagement von hochfliegenden {S}olarplattformen},
booktitle = {6. Interdisziplinärer Workshop Kognitive Systeme -- Mensch, Teams, Systeme und Automaten},
year     = {2017},
month    = {27.-29. M\arz},
address  = {Neubiberg bei M\unchen},
abstract = {Hochfliegende Solarplattformen werden in den letzten Jahren verst\arkt f\ur satelliten-\ähnliche Anwendungen
untersucht. Erste Prototypen demonstrierten bereits 14-t\agige Fl\uge in der Stratosph\are. Die daf\ur erforderliche
Bodenmannschaft besteht allerdings aus bis zu f\unf hochausgebildeten Ingenieuren, die das Flugger\at rund um die Uhr
bedienen m\ussen. Um eine kommerzielle Nutzung von H\ohenplattformen zu erm\oglichen, ist daher eine weitgehende
Automatisierung der Missionsf\uhrung unabdingbar. Diese Arbeit untersucht die M\oglichkeiten der aus der
Computer-Spiele-Industrie stammenden Behavior Trees f\ur diese Anwendung. Notwendige Erweiterungen des Formalismus werden
vorgestellt und evaluiert. Durch den modularen und zielgerichteten Aufbau der Missionspl\ane wird der Endnutzer insbesondere
bei der Erstellung von hardwarenahen Aktionen und bei der Absicherung des Plans gegen Fehlerf\alle entlastet. Ein g\ultiger
Missionsplan kann dann sowohl durch unerfahrene Nutzer als auch durch weitere Automatisierung generiert werden.},
}
```

- [1] Andreas Klöckner and Daniel Schlabe. Behavior Trees für Missionsmanagement von hochfliegenden Solarplattformen. In *6. Interdisziplinärer Workshop Kognitive Systeme – Mensch, Teams, Systeme und Automaten*, Neubiberg bei München, 27.-29. März 2017.

BEHAVIOR TREES FÜR MISSIONSMANAGEMENT VON HOCHFLIEGENDEN SOLARPLATTFORMEN

Andreas Klöckner und Daniel Schlabe, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Corresponding author: Andreas Klöckner

Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 82234 Oberpfaffenhofen

Email: andreas.kloeckner@dlr.de

Hintergrund der Arbeit Hochfliegende Solarplattformen werden in den letzten Jahren verstärkt für satelliten-ähnliche Anwendungen untersucht. Erste Prototypen demonstrierten bereits 14-tägige Flüge in der Stratosphäre [1]. Die dafür erforderliche Bodenmannschaft besteht allerdings aus bis zu fünf hoch-ausgebildeten Ingenieuren, die das Fluggerät rund um die Uhr bedienen müssen. Um eine kommerzielle Nutzung von Höhenplattformen zu ermöglichen, ist daher eine weitgehende Automatisierung der Missionsführung unabdingbar [2].

Ziel der Arbeit Diese Arbeit untersucht die Möglichkeiten der aus der Computer-Spiele-Industrie stammenden Behavior Trees für diese Anwendung [3]. Notwendige Erweiterungen des Formalismus werden vorgestellt und evaluiert. Durch den modularen und zielgerichteten Aufbau der Missionspläne wird der Endnutzer insbesondere bei der Erstellung von hardwarenahen Aktionen und bei der Absicherung des Plans gegen Fehlerfälle entlastet. Ein gültiger Missionsplan kann dann sowohl durch unerfahrene Nutzer als auch durch weitere Automatisierung generiert werden.

Angewendete Methode(n) Der Ansatz der Behavior Trees organisiert das Verhalten eines Systems in einer hierarchischen Baumstruktur. Jeder Knoten im Baum ist eine Aufgabe (Task), die ein eigenständiges, zielgerichtetes, reaktives Verhalten abbildet. Um das Verhalten eines Tasks zu aktivieren, wird zyklisch seine tick()-Funktion aufgerufen. Diese Funktion kann folgende drei Werte zurückgeben: Running bedeutet, dass der Task versucht, sein Ziel zu erreichen. Success bedeutet, dass der Task sein Ziel erreicht hat. Failure bedeutet, dass der Task sein Ziel nicht mehr erreichen kann. Hardwarenähere Tasks können in der Baumstruktur mit Sequenz- und Auswahlknoten zu Verhalten höherer Ordnung kombiniert werden. Durch die generische Schnittstelle können diese Verhaltensbeschreibungen zudem beliebig gegeneinander ausgetauscht werden.

Anhand von Anwendungsbeispielen werden zentrale Schwachpunkte des Formalismus identifiziert und behoben. Als Implementierungsumgebung kommt die gleichungsbasierte Sprache Modelica zum Einsatz [4], da sie die Integration des Missionsplans mit einem komplexen Simulationsmodell des Flugzeugs erlaubt. Die resultierenden Eigenschaften des Ansatzes werden sowohl theoretisch anhand ihrer Semantik als auch praktisch anhand der Simulation eines Höhenflugzeugs untersucht. Die Implikationen des Ansatzes für den Missionsbetrieb mit einer kleinen und gering-ausgebildeten Mannschaft wird erläutert. Eine Erhöhung der Sicherheit und Zuverlässigkeit im Missionsbetrieb wird durch eine Monte-Carlo-Simulation untersucht.

Kurze Darstellung der Ergebnisse Der modulare und funktionale Ansatz von Behavior Trees ist insbesondere wegen folgender drei Punkte nicht unmittelbar zur Anwendung im Missionsmanagement geeignet:

1. Theoretisch voneinander unabhängige Zweige des Baums sind durch Speicher im geregelten System voneinander abhängig. Diesem Umstand wird durch die Erweiterung mit Initialisierungsroutinen Rechnung getragen. [5]

2. Die wiederholte Ausführung der tick()-Funktionen erfordert eine getaktete Ausführung des Missionsplans. Um eine effiziente Simulation auch für mehrtägige Missionen zu ermöglichen, wird daher eine ungetaktete Formulierung vorgestellt. [6]
3. Typische Missionsausgaben wie Wegpunktfolgen benötigen Speicher innerhalb des Missionsplans. Es wird daher eine komplett modulare Erweiterung des Ansatzes mit Speicheraufgaben vorgestellt. [7]

Der erweiterte Formalismus greift weiterhin auf die zugrundeliegende Idee eines modularen Baums zurück, erweitert aber die Funktionalität zu einer anwendbaren Methode. Dadurch wird der unerfahrene Benutzer (oder eine geeignete Planungssoftware) von der Entwicklung komplexer Sicherheitschichten, sowie von der Implementierung komplexer Hardwaresteuerung getrennt (siehe Abb. 1). Diese können stattdessen vom Entwickler des Höhenflugzeugs bereitgestellt werden. Behavior Trees stellen somit eine hochwertige Abstraktion des Flugzeugverhaltens auf Aufgabenebene dar.

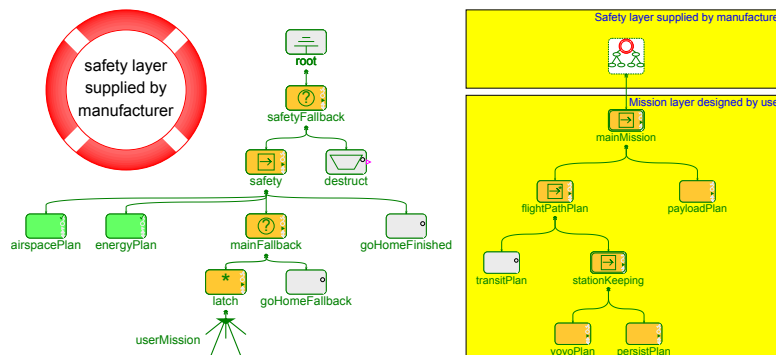


Abbildung 1: Abstraktion von Sicherheits- und Hardware-Schichten im Behavior Tree

Kurzes Fazit und praktische Implikationen Die modulare Struktur von Behavior Trees erweist sich als hochgradig geeignet, um ein Missionsmanagement für Höhenflugzeuge in der Praxis zu implementieren. Die vorgeschlagenen Erweiterungen beheben schwerwiegende Lücken zwischen der einfachen Struktur von Behavior Trees und einer unmittelbar anwendbaren Methode für das Missionsmanagement. Behavior Trees in ihrer erweiterten Form werden daher zukünftig ein wichtiges Werkzeug für die modulare Missionsplanung von Höhenflugzeugen und ähnlichen Anwendungsgebieten darstellen.

Literatur

- [1] QinetiQ Group, PLC. After 14 nights in the air, QinetiQ prepares to land its Zephyr solar powered unmanned aircraft, 2010. URL: <http://www.qinetiq.com/media/news/releases/Pages/zephyr-14-days.aspx> [cited 23.02.2016].
- [2] Martin Closs. Zephyr, the high altitude pseudo-satellite (HAPS). In *Disruptive Technologien in unbemannten Systemen und Komponenten*. DGLR, 26 November 2014.
- [3] Damián Isla. Handling complexity in the Halo 2 AI. In *Game Developers Conference*, 2005. URL: <http://www.naimadgames.com/publications/gdc05/gdc05.doc> [cited 07.01.2016].
- [4] Modelica Association. Modelica – a unified object-oriented language for systems modeling. Language specification version 3.3 revision 1. Technical report, Modelica Association, Linköping, July 11 2014. URL: <https://www.modelica.org/documents/ModelicaSpec33Revision1.pdf> [cited 03.01.2017].

- [5] Andreas Klöckner. Behavior trees for UAV mission management. In Matthias Horbach, editor, *INFORMATIK 2013: Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt*, volume P-220 of *GI-Edition-Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings*, pages 57–68, Koblenz, Germany, 16-20 September 2013. Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Köllen Druck + Verlag GmbH, Bonn. ISBN 978-3-88579-614-5.
- [6] Andreas Klöckner. The Modelica BehaviorTrees library: Mission planning in continuous-time for unmanned aircraft. In Hubertus Tummescheit and Karl-Erik Årzén, editors, *Proceedings of the 10th International Modelica Conference*, number 96 in Linköping Electronic Conference Proceedings, pages 727–736, Lund, Sweden, March 10-12 2014. Modelica Association and Linköping University Electronic Press. ISBN: 978-91-7519-380-9. ISSN: 1650-3686. eISSN: 1650-3740. doi:10.3384/ECP14096727.
- [7] Andreas Klöckner. Behavior trees with stateful tasks. In Joël Bordeneuve-Guibé, Antoine Drouin, and Clément Roos, editors, *Advances in Aerospace Guidance, Navigation and Control - Selected Papers of the Third CEAS Specialist Conference on Guidance, Navigation and Control Held in Toulouse, France, in April 2015*, pages 509–519. Springer International Publishing, Switzerland, 2015. doi:10.1007/978-3-319-17518-8_29.