

## Master Thesis

# Vision-based safe proximity operation of a future Mars rotorcraft

Autumn Term 2024



# Contents

<b>Preface</b>	<b>ii</b>
<b>Abstract</b>	<b>iii</b>
<b>1 Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit <math>\text{\LaTeX}</math></b>	<b>v</b>
1.1 Gliederungen . . . . .	v
1.2 Referenzen und Verweise . . . . .	v
1.3 Aufzählungen . . . . .	v
1.4 Erstellen einer Tabelle . . . . .	vi
1.5 Einbinden einer Grafik . . . . .	vii
1.6 Mathematische Formeln . . . . .	vii
1.7 Weitere nützliche Befehle . . . . .	viii
<b>2 Related Work</b>	<b>ix</b>
<b>Bibliography</b>	<b>1</b>

# Preface

Bla bla ...

# Abstract

An autonomous rotorcraft literally stands or falls on it's reliable landing capabilities. When that same rotorcraft is on Mars, this procedure cannot fail even once. The LORNA (Long Range Navigation) project tackles this problem by introducing a Landing Site Detection (LSD) mechanism which aggregates Structure From Motion (SFM) point clouds into a multi resolution depth map and performs landing site segmentation on the collected depth information. In this master's thesis we incorporated this landing site detection pipeline into an autonomous framework and implemented a behavior tree based landing mechanism to safely and efficiently select, verify and discard detected landing sites. Furthermore the pipeline was enhanced using a stereo camera depth input alternative to SFM for lower altitudes to remove the necessity of lateral motion in order to perceive depth. The software was tested extensively in a gazebo simulation on different synthetic as well as recorded environments and different behaviors were considered and analyzed throughout various Monte Carlo iterations. The contributions in this work aim at enabling future mars rotorcrafts to autonomously and reliably land at safe locations thus enabling a more daring aerial exploration of the red planet.



# Chapter 1

## Einige wichtige Hinweise zum Arbeiten mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

Nachfolgend wird die Codierung einiger oft verwendeten Elemente kurz beschrieben. Das Einbinden von Bildern ist in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X nicht ganz unproblematisch und hängt auch stark vom verwendeten Compiler ab. Typisches Format für Bilder in L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X ist EPS<sup>1</sup> oder PDF<sup>2</sup>.

### 1.1 Gliederungen

Ein Text kann mit den Befehlen `\chapter{.}`, `\section{.}`, `\subsection{.}` und `\subsubsection{.}` gegliedert werden.

### 1.2 Referenzen und Verweise

Literaturreferenzen werden mit dem Befehl `\citep{.}` und `\citet{.}` erzeugt. Beispiele: ein Buch [1], ein Buch und ein Journal Paper [1, 2], ein Konferenz Paper mit Erwähnung des Autors: Pratt and Williamson [3].

Zur Erzeugung von Fussnoten wird der Befehl `\footnote{.}` verwendet. Auch hier ein Beispiel<sup>3</sup>.

Querverweise im Text werden mit `\label{.}` verankert und mit `\cref{.}` erzeugt. Beispiel einer Referenz auf das zweite Kapitel: chapter 1.

### 1.3 Aufzählungen

Folgendes Beispiel einer Aufzählung ohne Numerierung,

- Punkt 1
- Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{itemize}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{itemize}
```

---

<sup>1</sup>Encapsulated Postscript

<sup>2</sup>Portable Document Format

<sup>3</sup>Bla bla.

Folgendes Beispiel einer Aufzählung mit Numerierung,

1. Punkt 1
2. Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{enumerate}
  \item Punkt 1
  \item Punkt 2
\end{enumerate}
```

Folgendes Beispiel einer Auflistung,

**P1** Punkt 1

**P2** Punkt 2

wurde erzeugt mit:

```
\begin{description}
  \item[P1] Punkt 1
  \item[P2] Punkt 2
\end{description}
```

## 1.4 Erstellen einer Tabelle

Ein Beispiel einer Tabelle:

Table 1.1: Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.

Kennzahl	Einheit	ECE	EUDC	NEFZ
Dauer	s	780	400	1180
Distanz	km	4.052	6.955	11.007
Durchschnittsgeschwindigkeit	km/h	18.7	62.6	33.6
Leerlaufanteil	%	36	10	27

Die Tabelle wurde erzeugt mit:

```
\begin{table}[h]
\begin{center}
\caption{Daten der Fahrzyklen ECE, EUDC, NEFZ.}\vspace{1ex}
\label{tab:tabnefz}
\begin{tabular}{ll|ccc}
\hline
Kennzahl & Einheit & ECE & EUDC & NEFZ \\ \hline
Dauer & s & 780 & 400 & 1180 \\
Distanz & km & 4.052 & 6.955 & 11.007 \\
Durchschnittsgeschwindigkeit & km/h & 18.7 & 62.6 & 33.6 \\
Leerlaufanteil & \% & 36 & 10 & 27 \\
\hline
\end{tabular}
\end{center}
\end{table}
```



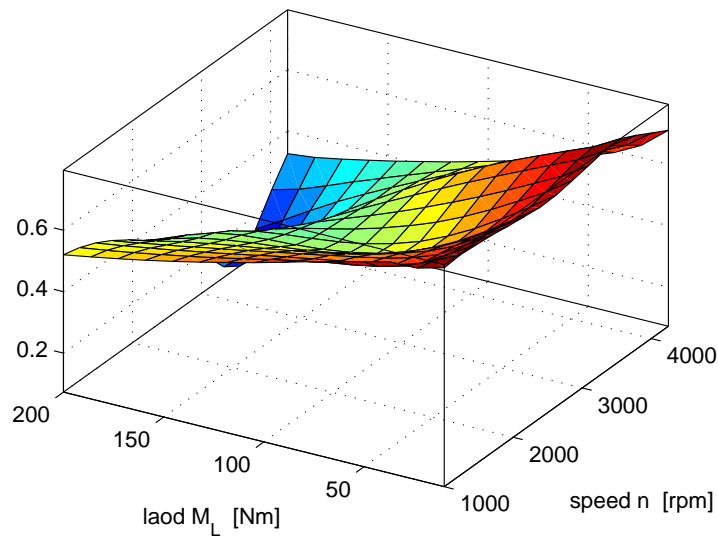


Figure 1.1: Ein Bild

## 1.5 Einbinden einer Grafik

Das Einbinden von Graphiken kann wie folgt bewerkstelligt werden:

```
\begin{figure}
  \centering
  \includegraphics[width=0.75\textwidth]{images/exmples/k_surf.pdf}
  \caption{Ein Bild.}
  \label{fig:k_surf}
\end{figure}
```

oder bei zwei Bildern nebeneinander mit:

```
\begin{figure}
  \begin{minipage}[t]{0.48\textwidth}
    \includegraphics[width = \textwidth]{images/examples/cycle_we.pdf}
  \end{minipage}
  \hfill
  \begin{minipage}[t]{0.48\textwidth}
    \includegraphics[width = \textwidth]{images/examples/cycle_ml.pdf}
  \end{minipage}
  \caption{Zwei Bilder nebeneinander.}
  \label{pics:cycle}
\end{figure}
```

## 1.6 Mathematische Formeln

Einfache mathematische Formeln werden mit der equation-Umgebung erzeugt:

$$p_{me0f}(T_e, \omega_e) = k_1(T_e) \cdot (k_2 + k_3 S^2 \omega_e^2) \cdot \Pi_{\max} \cdot \sqrt{\frac{k_4}{B}}. \quad (1.1)$$

Der Code dazu lautet:

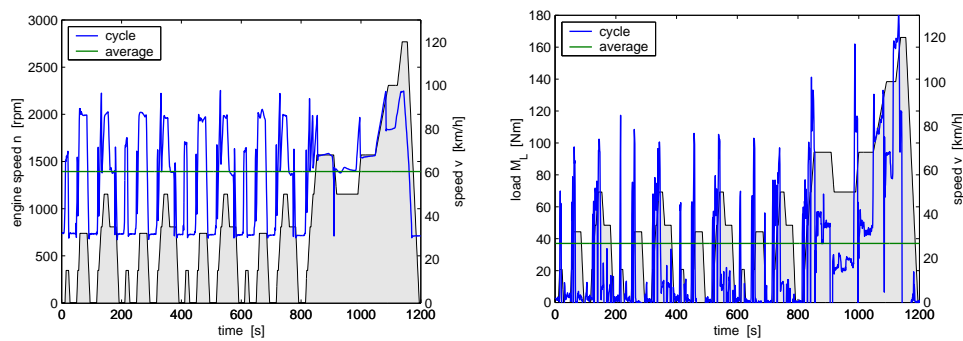


Figure 1.2: Zwei Bilder nebeneinander

```
\begin{equation}
p_{me0f}(T_e, \omega_e) \setminus = \setminus k_1(T_e) \setminus \cdot (k_2 + k_3 S^2
\omega_e^2) \setminus \cdot \Pi_{\max} \setminus \cdot \sqrt{\frac{k_4}{B}} \setminus , .
\end{equation}
```

Mathematische Ausdrücke im Text werden mit  $\$formel\$$  erzeugt (z.B.:  $a^2 + b^2 = c^2$ ). Vektoren und Matrizen werden mit den Befehlen  $\vec{\{.\}}$  und  $\mat{\{.\}}$  erzeugt (z.B.  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{M}$ ).

## 1.7 Weitere nützliche Befehle

Hervorhebungen im Text sehen so aus: *hervorgehoben*. Erzeugt werden sie mit dem  $\texttt{\textbackslash emph{\{.\}}}$  Befehl.

Einheiten werden mit den Befehlen  $\texttt{\textbackslash unit[1]\{m\}}$  (z.B. 1 m) und  $\texttt{\textbackslash unitfrac[1]\{m\}\{s\}}$  (z.B.  $1 \text{ m/s}$ ) gesetzt.

## Chapter 2

# Related Work

Flying a rotorcraft on Mars is of course no new endeavor to NASA as the 72 successful mission flown by Ingenuity demonstrate.  
Pratt and Williamson [3]



# Bibliography

- [1] M. Raibert, *Legged Robots That Balance*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- [2] M. Vukobratović and B. Borovac, “Zero-moment point — thirty five years of its life,” *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 1, no. 01, pp. 157–173, 2004.
- [3] G. A. Pratt and M. M. Williamson, “Series elastic actuators,” in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 1995, pp. 3137–3181.

