

Rename

t.b.d.

Mein Name

28. Februar 2024

1 Trajectory Planning

2 Notation

3 Bang-Bang-Control

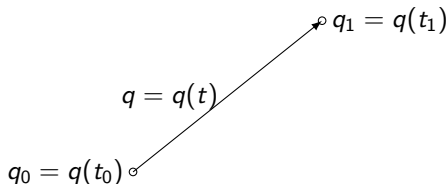
4 Quellen

Trajectory Planning



Trajectory Planning I

Einleitung



Wir müssen hier unterscheiden zwischen:

- der Beschreibung der Position der Aktoren
- und der Beschreibung der Lage des Effektors (Werkzeugs)
 - diese wird auch als Pose bezeichnet und kann durch 3 Positionsangaben (wie x,y,z) und 3 Drehwinkel (wie a,b,c) bezogen auf ein Bezugskoordinatensystem beschrieben werden
 - sie beschreibt eine Bahn im Raum

Einschränkung: zunächst nur die Position der Aktoren

Trajectory Planning I

Aufgabe: Beziehung zwischen Zeit und Position finden

Synonyme: Path Planning, Motion Planning

Unterscheidung hier:

- Geometrie (Path): Position der Aktoren ohne Zeitinformation
- Trajektorie (Trajectory): Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck als Funktion über die Zeit

Vereinfachung

- Eindimensionale Trajektorie: $q = q(t)$
Definiert durch eine Skalar-Funktion
- Mehrdimensionale Trajektorie: $\mathbf{p} = \mathbf{p}(t)$
Definiert durch eine Vektor-Funktion

Einschränkung: zunächst nur eindimensionale Trajektorien; [PT97]

Trajectory Planning I

q_0 : Startposition

q_1 : Zielposition

$$q_0 = q(t_0) \circ \xrightarrow{q = q(t)} \circ q_1 = q(t_1)$$

Notation I

Position

$$q(t) \quad (1)$$

Geschwindigkeit (Velocity)

$$v(t) = \dot{q}(t) = \frac{d}{dt}q(t) \quad (2)$$

Beschleunigung (Acceleration)

$$a(t) = \dot{v}(t) = \frac{d}{dt}v(t) = \ddot{q}(t) = \frac{d^2}{dt^2}q(t) \quad (3)$$

Ruck (Jerk)

$$j(t) = \dot{a}(t) = \frac{d}{dt}a(t) = \ddot{v}(t) = \frac{d^2}{dt^2}v(t) = q^{(3)}(t) = \frac{d^3}{dt^3}q(t) \quad (4)$$

Bang-Bang-Control I

Prozess: Positionierung

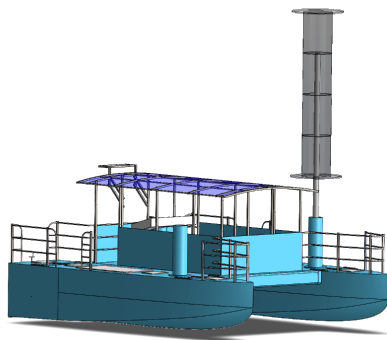
Aufgabe: Positionieren in möglichst kurzer Zeit

Ansatz: Höchstmögliches ausreizen der limitierende(n) Größe(n)

Grenzen: Limitierende Größen (Constraints) ergeben sich

- durch den Motor
 - über die Höchstdrehzahl wird v_{max} festgelegt
 - über das Drehmoment wird a_{max} festgelegt
- durch die Dynamik des mechanischen Systems
 - über Steifigkeit/Nachgiebigkeit wird j_{max} festgelegt
- durch die Geometrie wird festgelegt, ob j_{max} , a_{max} und v_{max} überhaupt erreicht werden können
 - da **hier** nur eindimensionale Trajektorien betrachtet werden, ist nur die **Weglänge** der begrenzende Faktor
 - bei mehrdimensionalen Trajektorien ist die Krümmung ein weiterer begrenzender Faktor

Water Taxi I



3D-Printer I



3D-Printer I

Der Datenstruktur **MyStructure** aus der Datei **MyStructure.py** ist sehr interessant.

Code

```
import tensorflow as tf  
from tensorflow.keras import datasets, layers, models  
  
MODEL = models.Sequential()
```

Code

```
# Author: Ardit Sulce, Automate Everything with Python,  
# Course URL: https://www.udemy.com/course/automate-ever
```

```
import tabula
```

```
table = tabula.read_pdf('weather.pdf', pages=1)
```

```
print(type(table[0]))
```

```
table[0].to_csv('output.csv', index=None)
```

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit

Quellen

Quellen I

Nachfolgend werden die Quellen der Bilder angegeben, die für diese Präsentation in ihrer ursprünglichen Form oder modifiziert verwendet worden sind.

- [DIN66025-2] DIN Deutsches Institut für Normung e.V. *DIN 66025-2:1988-09: Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen: Wegbedingungen und Zusatzfunktionen.* Norm. Berlin, Sep. 1988.
- [Far94] G. Farin. *Kurven und Flächen im Computer Aided Geometric Design. Eine praktische Einführung.* Vieweg, 1994.
- [PT97] Les Piegl und Wayne Tiller. *The NURBS Book.* 2. Aufl. New York, NY, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 1997. ISBN: 3-540-61545-8.
- [FH02] G. Farin und J. Hoschek. *Handbook of Computer Aided Geometric Design.* Elsevier Science, 2002.

Quellen II

- [Far02] Gerald Farin. *Curves and Surfaces for CAGD*. 5. [pdf]. San Diego, CA: Academic Press, 2002.
- [Rus+07] David Russell u. a. *Apparatus and Methods for 3D Printing*. United States Patent, Patent NO.: US 7,291,002 B2. 2007.
- [R M09] H. Hussman R. Malaka A. Butz. *Medieninformatik*. Pearson Studium, 2009.
- [Jak+10] Gasper Jaklic u. a. "On Interpolation by Planar Cubic G^2 Pythagorean-Hodograph Spline Curves". In: *Mathematics of Computation* (2010). [pdf].
- [BN11] Hans Babovsky und Werner Neundorf. *Numerische Approximation von Funktionen*. Techn. Ber. TU Ilmenau, 2011. URL:
<https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/media/num/neundorf/Dokumente/Preprints/NumApp1.pdf>
(besucht am 13.01.2017).

Quellen III

- [Heh11] Peter Hehenberger. *Computerunterstützte Fertigung: Eine kompakte Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ISBN: 9783642134753.
- [Zei13] E. Zeidler, Hrsg. *Springer-Taschenbuch der Mathematik*. 3., neu bearb eitete und erweiterte Auflage. Springer Verlag, 2013. ISBN: 978-3-8348-2359-5.
- [BOS14] Pierre Bonami, Alberto Olivares und Ernesto Staffetti. "Energy-Optimal Multi-Goal Motion Planning for Planar Robot Manipulators". In: *Journal of Optimization Theory and Applications* 163.1 (2014), S. 80–104. ISSN: 1573-2878. DOI: 10.1007/s10957-013-0516-0. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10957-013-0516-0>.

Quellen IV

- [SS14] Burak Sencer und Eiji Shamoto. “Curvature-continuous sharp corner smoothing scheme for Cartesian motion systems”. In: *2014 IEEE 13th International Workshop on Advanced Motion Control (AMC)*. [pdf] und [Version 2 - pdf]. Piscataway, NJ: IEEE, 2014, S. 374–379. ISBN: 978-1-4799-2323-6. DOI: [10.1109/AMC.2014.6823311](https://doi.org/10.1109/AMC.2014.6823311).
- [Sin14] Sebastian Sindermann. *Schnittstellen und Datenaustauschformate*. German. Springer Berlin Heidelberg, 2014, S. 327–347. ISBN: 978-3-662-43815-2. DOI: [10.1007/978-3-662-43816-9_14](https://doi.org/10.1007/978-3-662-43816-9_14). URL: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-43816-9_14.
- [Are+15] Tilo Arens u. a. *Mathematik*. 3. [pdf] http://www.gbv.de/dms/weimar/toc/551047283_toc.pdf [Link]. Heidelberg: Spektrum akademischer Verlag, 2015.

Quellen V

[Bun15]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi),
Hrsg. *Bekanntmachung Digitale Technologien für die
Wirtschaft (PAiCE). Platforms—Additive
Manufacturing—Imaging—Communication—Engineering
Ein Technologiewettbewerb des Bundesministeriums für
Wirtschaft und Energie. 2015. URL:*
[http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/
Publikationen/paice-digitale-technologien-
fuer-die-wirtschaft-bekanntmachung,property=
pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf](http://bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/paice-digitale-technologien-fuer-die-wirtschaft-bekanntmachung,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf)
(besucht am 20.07.2016).

Quellen VI

- [Kar+15] Sami Kara u. a. "The 22nd CIRP Conference on Life Cycle Engineering Minimization of the Energy Consumption in Motion Planning for Single-robot Tasks". In: *Procedia CIRP* 29 (2015), S. 354–359. ISSN: 2212-8271. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.174>. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827115004886>.
- [Mar16] Erik Marquardt. *Handlungsfelder. Additive Fertigungsverfahren*. Hrsg. von VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V. Fachbereich Produktionstechnik und Fertigungsverfahren. 2016. URL: https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gpl_dateien/6242_PUB_GPL_Handlungsfelder_-_Additive_Fertigungsverfahren_Internet.pdf (besucht am 13.08.2016).

Quellen VII

- [TS16] Shingo Tajima und Burak Sencer. “Kinematic corner smoothing for high speed machine tools”. In: *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 108 (2016). [\[pdf\]](#), S. 27–43. ISSN: 08906955. DOI: `\url{10.1016/j.ijmachtools.2016.05.009}`.
- [FS17] Rida Farouki und Jyothirmai Srinathu. “A real-time CNC interpolator algorithm for trimming and filling planar offset curves”. In: *Computer-Aided Design* 86 (Jan. 2017). DOI: 10.1016/j.cad.2017.01.001.
- [TS17] Shingo Tajima und Burak Sencer. “Global tool-path smoothing for CNC machine tools with uninterrupted acceleration”. In: *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 121 (2017). [\[pdf\]](#), S. 81–95. ISSN: 08906955. DOI: `\url{10.1016/j.ijmachtools.2017.03.002}`.

Quellen VIII

- [Wat17a] Waterloo Maple Inc. 2017. *Description*. [letzter Zugriff 14.09.2017](https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=module/description). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=module/description>.
- [Wat17b] Waterloo Maple Inc. 2017. *Export*. [letzter Zugriff 14.09.2017](https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=module/export). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=module/export>.
- [Wat17c] Waterloo Maple Inc. 2017. *Module*. [letzter Zugriff 14.09.2017](https://de.maplesoft.com/support/help/maple/view.aspx?path=module). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/maple/view.aspx?path=module>.
- [Wat17d] Waterloo Maple Inc. 2017. *ModuleLoad*. [letzter Zugriff 14.09.2017](https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=ModuleLoad). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=ModuleLoad>.

Quellen IX

- [Wat17e] Waterloo Maple Inc. 2017. *Option*. [letzter Zugriff 14.09.2017](#). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=module/option>.
- [Wat17f] Waterloo Maple Inc. 2017. *Procedures*. [letzter Zugriff 14.09.2017](#). 2017. URL: <https://de.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=procedure>.
- [Zaf+20] Anastasios Zafeiropoulos u. a. "Benchmarking and Profiling 5G Verticals' Applications: An Industrial IoT Use Case". In: *IEEE Conference on Network Softwarization, NetSoft 2020*. 2020. DOI: 10.1109/NetSoft48620.2020.9165393.