

Bahnbewegung und Interpolation

Zeitverhalten bei verschiedenen Interpolationsarten

Die Bahnplanung hat die Aufgabe den Weg im kartesischen Raum vom Startpunkt A zum Zielpunkt B so zu planen, dass die Interpolation pro Zeiteinheit Zielvorgaben für den Roboter erzeugt. Für die Bahnplanung stehen die Verfahrenarten Synchro-PTP, LIN und CIRC zur Verfügung. Im Folgenden soll auf den Zusammenhang zwischen Positions- und Orientierungsinterpolation eingegangen werden und das daraus resultierende unterschiedliche Zeit- und Bewegungsverhalten.

Um den Weg von Punkt A zu Punkt B zu planen sind folgende Vorgaben nötig

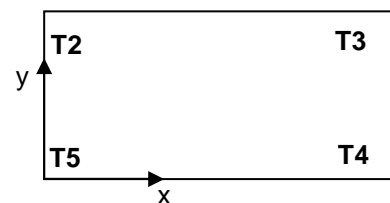
- Start- und Zielposition mit Orientierung
- Bahn- und Orientierungsgeschwindigkeit, sowie Beschleunigungen
- Verfahrenart
- Zusammenhang zwischen Positions- und Orientierungsführung

Im folgenden Beispiel sind an einem Rechteck 4 Punkte programmiert, wobei jeweils zwei der vier Punkte eine gleiche Orientierung haben. Die Punkt- oder Tagkoordinaten T2 - T5 sind in der folgenden Tabelle eingetragen.

Tag	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Rx [°]	Ry [°]	Rz [°]
T2	250	500	300	0	180	0
T3	1250	500	300	0	180	0
T4	1250	0	300	-45	180	0
T5	250	0	300	45	180	0

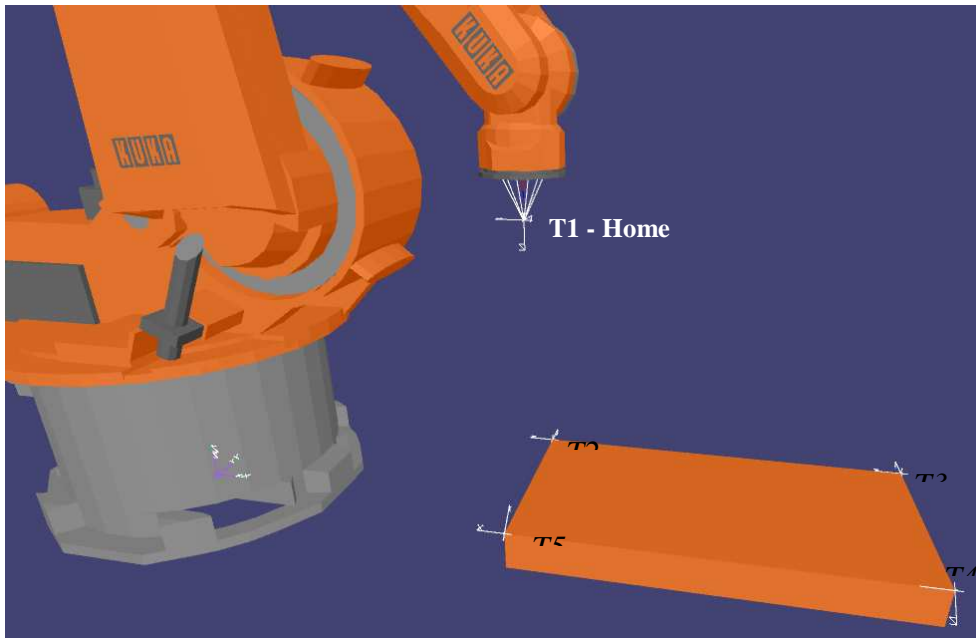
Um entlang der Kante des Rechtecks zu fahren wird die Verfahrenart LIN gewählt. In Abhängigkeit von der gewählten Interpolationsart für die Orientierung und der Position werden sich verschiedene Taktzeiten ergeben. Die nächste Tabelle zeigt die Wegabstände und die Orientierungswinkeldifferenzen zwischen den Tagpunkten.

von - nach	Weg	Winkel
T2 - T3	1000 mm	0°
T3 - T4	500 mm	45°
T4 - T5	1000 mm	-90°
T5 - T2	500 mm	45°



Bahnbewegung und Interpolation

In dem Beispiel *KR125-2_move.cel* und dem Verfahrprogramm *KR125-2_move.prg* soll der KUKA Roboter vom Typ *KR 125-2* die Ergebnisse darstellen.



ProgramFile

```
SPEED_PTP 20.0000 0.0
ACCEL_PTP 10.0000
SPEED_CP 0.2000 0.0
ACCEL_CP 0.1000
SPEED_ORI 10.0000 0.0
ACCEL_ORI 10.0000
```

```
LIN T_2
```

```
!-----
ERC STATUS_OUTPUT ON 1 fname.dat 0
```

```
!-----
LIN_ORI QUATERNION
LEADING_POSITION ON
!LEADING_ORIENTATION ON
!LEADING_POSITION VAR
```

```
call move()
```

```
ERC STATUS_OUTPUT OFF
```

```
!-----
PTP T_1
```

```
EndProgramFile
```

```
!-----
fct move()
```

```
SPEED_CP 0.2000 0.0
LIN T_3
LIN T_4
SPEED_CP 0.1000 0.0
LIN T_5
LIN T_2
ERC STOP
endfct
```

Programmbeginn

Geschwindigkeits- und Beschleunigungsdefinitionen
 20 %s
 10 %s²
 200 mm/s
 100 mm/s²
 10 %s
 10 %s²

Fahre zur Startposition T_2

!-----
 Schreibe die x-, y- und z-Position in die Ergebnisdatei *fname.dat*

!-----
 Interpolation der Orientierung nach Quaternionen

1. Versuch Orientierungs-Interpolationsart: Position
2. Versuch Orientierungs-Interpolationsart: Orientierung
3. Versuch Orientierungs-Interpolationsart: Variable

Fahre entlang des Rechtecks nach T_3, T_4, T_5 und T_2

Schließe die Ergebnisdatei *fname.dat*

Programmende

!-----
 Begin der Funktion *move()*

Fahre mit 200mm/s zu T_3 und T_4

Fahre mit 100mm/s zu T_5 und T_2

Programmstop
 Ende der Funktion *move()*

Bahnbewegung und Interpolation

Drei Orientierungs-Interpolationsarten

Bei der Bahnplanung werden Position und Orientierung vorerst unabhängig voneinander geplant. Hieraus ergeben sich in der Regel unterschiedliche Ausführungszeiten. In der Praxis ist es erstrebenswert, dass Position und Orientierung synchron interpoliert werden. Die Orientierungsinterpolationsart legt nun fest welche der geplanten Ausführungszeiten dominant sein soll.

LEADING_POSITION ON Die Ausführungszeit wird durch die Position bestimmt. Nur wenn diese 0 ist, ist die Ausführungszeit die sich aus der Orientierung ergibt dominant. Bei kleinen Ausführungszeiten können die maximal zulässigen Orientierungsgeschwindigkeiten überschritten werden, was in der Regel zu überhöhten Gelenkgeschwindigkeiten und -Beschleunigungen führt.

LEADING_ORIENTATION ON Die Ausführungszeit wird durch die Orientierung bestimmt. Nur wenn diese 0 ist, ist die Ausführungszeit die sich aus der Position ergibt dominant. Bei kleinen Ausführungszeiten können die maximal zulässigen Positionsgeschwindigkeiten überschritten werden, was in der Regel zu überhöhten Gelenkgeschwindigkeiten und -Beschleunigungen führt.

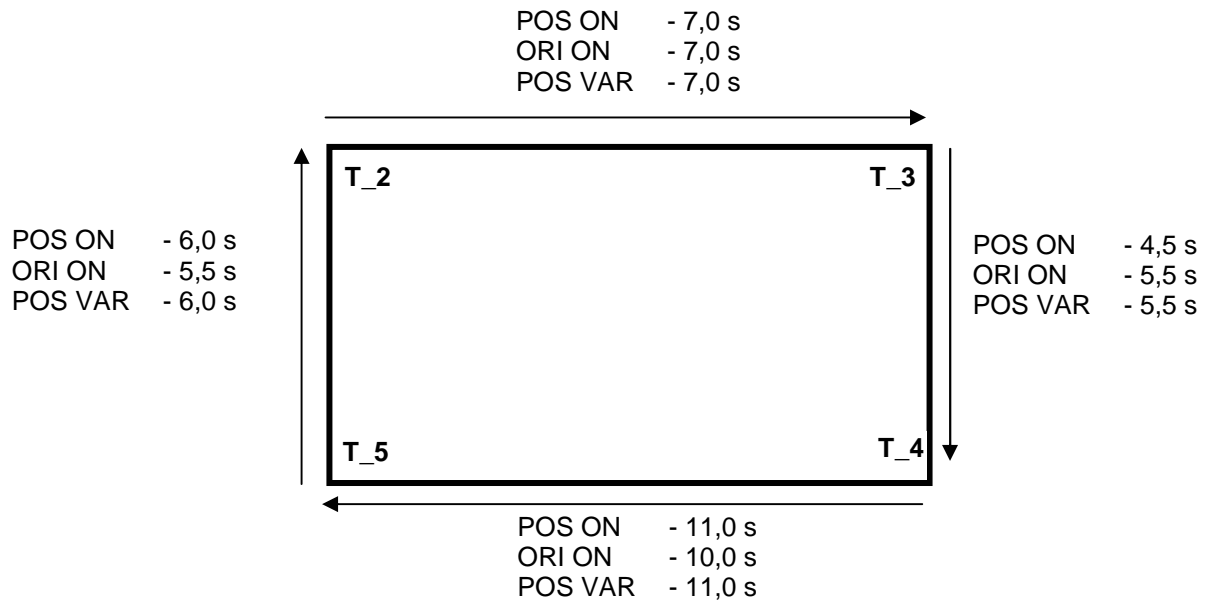
LEADING_POSITION VAR Das Zeitverhalten ist Variable und wird durch die jeweils größere Ausführungszeit bestimmt. Eine Überschreitung der maximal zulässigen Gelenkgeschwindigkeiten und -Beschleunigungen wird abgesehen in der Nähe von singulären Stellungen vermieden. Nachteil: Die Prozessgeschwindigkeit ist nicht konstant. Diese Orientierungs-Interpolationsart ist somit nicht praxisrelevant für Applikation wie Kleben, Schneiden, Fräsen, bei denen der Roboter entlang eine Kontur mit konstanter Geschwindigkeit verfahren soll.

Die gesamte Ausführungszeit „*total Time*“ für die drei Orientierungs-Interpolationsarten werden im *Robot IO Output Window* „*current Motion Data*“ angezeigt.

Entlang der Kontur des Rechtecks ergeben sich folgende verschiedene Ausführungszeiten.

LEADING_POSITION ON	28,5 s
LEADING_ORIENTATION ON	28,0 s
LEADING_POSITION VAR	29,5 s

Bahnbewegung und Interpolation



LEADING_POSITION ON:

a) Für den Weg von T₂ nach T₃ mit $s_{\text{pos}} = 1000 \text{ mm}$ werden bei einer programmierten Geschwindigkeit von $v_{\text{pos}} = 200 \text{ mm/s}$ und einer Beschleunigung von $a_{\text{pos}} = 100 \text{ mm/s}^2$ insgesamt $t_{\text{s_pos}} = 7 \text{ Sekunden}$ benötigt.

Beschleunigungszeit	$t_{r1} = v/a_{\text{pos}} = 2,0 \text{ sec}$	$s_{r1} = v_{\text{pos}}^2/2a_{\text{pos}} = 200 \text{ mm}$
Bremszeit	$t_{r2} = v/a_{\text{pos}} = 2,0 \text{ sec}$	$s_{r2} = v_{\text{pos}}^2/2a_{\text{pos}} = 200 \text{ mm}$
Konstantverfahrzeit	$t_c = (s_{\text{pos}} - s_{r1} - s_{r2})/v = 3,0 \text{ sec}$	
Gesamtverfahrzeit	$t_{\text{s_pos}} = t_{r1} + t_c + t_{r2} = 7,0 \text{ sec}$	

b) Für den Weg von T₃ nach T₄ mit $s_{\text{pos}} = 500 \text{ mm}$ ergibt sich bei gleicher Berechnung $t_{\text{s_pos}} = 4,5 \text{ Sekunden}$.

Für die Winkeländerung von $\alpha = 45^\circ$ ergeben bei einer programmierten Orientierungsgeschwindigkeit von $v_{\text{ori}} = 10 \text{ }^\circ/\text{s}$ und einer Orientierungsbeschleunigung $a_{\text{ori}} = 10 \text{ }^\circ/\text{s}^2$ insgesamt $t_{\text{s_ori}} = 5,5 \text{ Sekunden}$

Beschleunigungszeit	$t_{r1} = v_{\text{ori}}/a_{\text{ori}} = 1,0 \text{ sec}$	$\alpha_{r1} = v_{\text{ori}}^2/2a_{\text{ori}} = 5^\circ$
Bremszeit	$t_{r2} = v_{\text{ori}}/a_{\text{ori}} = 1,0 \text{ sec}$	$\alpha_{r2} = v_{\text{ori}}^2/2a_{\text{ori}} = 5^\circ$
Konstantverfahrzeit	$t_c = (\alpha - \alpha_{r1} - \alpha_{r2})/v_{\text{ori}} = 3,5 \text{ sec}$	
Gesamtverfahrzeit	$t_{\text{s_ori}} = t_{r1} + t_c + t_{r2} = 5,5 \text{ sec}$	

Fall b) zeigt, dass die Ausführungszeit $t_{\text{s_ori}}$ mit 5,5s größer ist, als die Ausführungszeit $t_{\text{s_pos}}$ mit 4,5s die sich aus der Positionsrechnung ergibt. In diesem Fall „LEADING_POSITION ON“ wird die kleinere Ausführungszeit verwendet.

LEADING_ORIENTATION ON:

Die Betrachtung von Fall b) ergibt entsprechend der vorstehenden Berechnung für die Orientierungsinterpolation eine Ausführungszeit von 5,5s, die hier dominant ist und verwendet wird.

LEADING_POSITION VAR:

Bei dieser Orientierungs-Interpolationsart wird stets die größte Ausführungszeit verwendet. Somit ergibt sich in der Summe auch die größte gesamte Verfahrzeit.

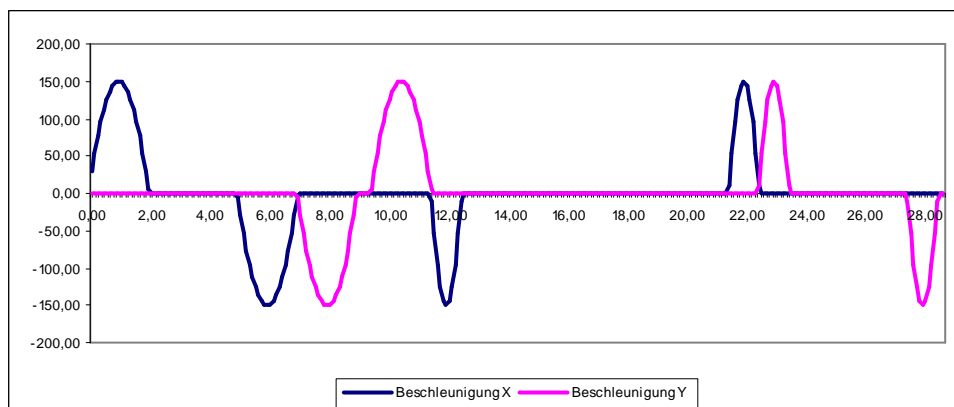
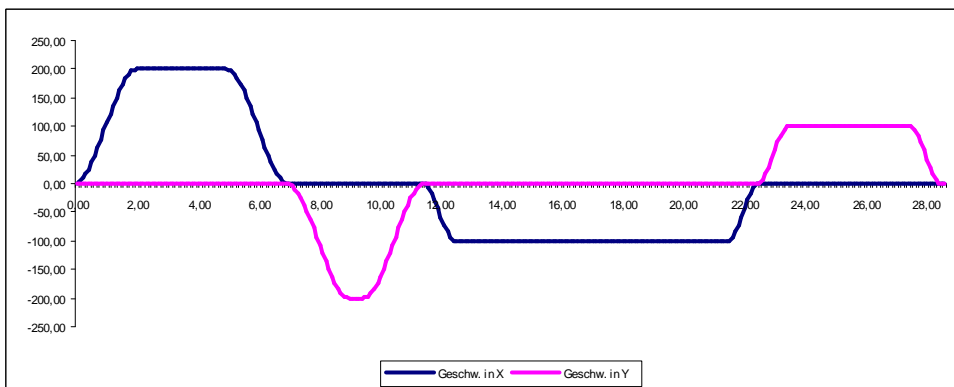
Ergebnisdatei „fname.dat“

Mit der Programmzeile „`ERC STATUS_OUTPUT ON 1 fname.dat 0`“ wird die Ergebnisdatei „`fname.dat`“ im aktuellen Ordner erstellt. In jedem Simulationsschritt werden die kartesischen Positionen, Gelenkwinkel und Gelenkwinkelgeschwindigkeiten aufgezeichnet. Die Programmzeile `ERC STATUS_OUTPUT OFF` beendet die Aufzeichnung und schließt die Ergebnisdatei.

Erläuterung der Spalten in der Ergebnisdatei:

Spalte 1 :	laufende Nummer
Spalte 2 :	Zeit
Spalte 3 :	Position X in mm
Spalte 4 :	Position Y in mm
Spalte 5 :	Position Z in mm
Spalten 6-11:	Gelenkwinkel der Achsen 1 bis 6 in [°]
Spalten 12-17:	Gelenkwinkelgeschwindigkeiten der Achsen 1 bis 6 in [%s]

Die Ergebnisdatei wurde für die Bewegung von T_2 bis T_5 für die Orientierungs-Interpolationsart `LEADING_POSITION ON` in ein Tabellenkalkulationsprogramm importiert, um die kartesischen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen für die X- und Y-Richtung grafisch darzustellen.



Die Verläufe zeigen ein ruckfreies und -stetiges Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofil.

Hinweis: Die berechnete maximale Beschleunigung ist mit 150 %s² um 50% höher als die programmierte Beschleunigung mit 100 %s².

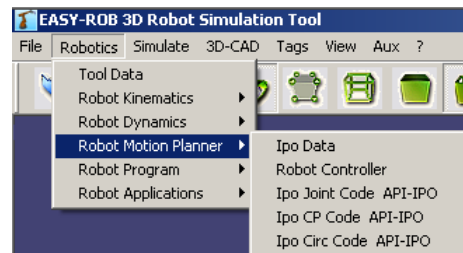
Bahnbewegung und Interpolation

Hinweis:

Um in EASY-ROB™ „ruckfreie“ Bahnbewegungen zu berechnen sind folgende Einstellungen vorzunehmen.

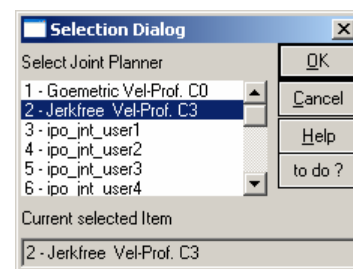
Menu -> Robotics -> Motion Planner

Ipo Joint Code
Ipo CP Code
Ipo Circ Code



Wählen Sie für den “Ipo CP Code API-IPO” die Einstellung “2 - Jerkfree Vel-Prof. C3”.

- | | |
|----------------------------|---|
| 1 - Geometric Vel-Prof. C0 | Ohne Geschwindigkeitsprofil, Beschleunigung und Ruck sind nicht begrenzt. |
| 2 - Jerkfree Vel-Prof. C3 | Ruckfreier Geschwindigkeitsverlauf, Beschleunigung und Ruck sind stetig und begrenzt. |



Beispieldateien:

KR 125-2_move.cel
KR 125-2_move.prg
fname.xls