

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	3
1.3 Inhaltsübersicht	4
2 Einführung in das Themengebiet	5
2.1 Reaktives Greifen	5
2.1.1 Begriffe des Reaktiven Greifens	6
2.2 Greifskills für Reaktives Greifen	10
2.3 Greifplanung und reaktives Greifen	12
2.4 Stand der Technik	13
2.4.1 Sensorik für reaktives Greifen	13
2.4.2 Reaktive Greifertechnologie	17
2.4.3 Existierende Ansätze zur Greifplanung	20
2.4.4 Stand der Forschung: Reaktive Greifskills	24
2.5 Zusammenfassung	27
3 Methoden und Funktionen für reaktives Greifen	29
3.1 Analyse der integrierten Reaktivität	29
3.1.1 Das taktile Sensorsystem der SDH2	30
3.1.2 Kraftkennlinie taktiler Sensoren	31
3.1.3 Simulation taktiler Sensorik	33
3.1.4 Kenngrößen der reaktiven Ansteuerung	34
3.2 Direkte Greiferkinematik	35

Inhaltsverzeichnis

3.2.1	Vorwärtskinematik zur Berechnung taktiler Kontaktpunkte	36
3.2.2	Inverskinematik der distalen Sensorik	39
3.2.3	Inverskinematik der proximalen Sensorik	41
3.3	Differentielle Kinematik des Mehrfingergreifers	43
3.3.1	Inverse Fingerkinematik	45
3.4	Reaktive Eigenkollisionserkennung	46
3.5	Kollisionsfreie Bahnplanung des Mehrfingergreifers	51
3.5.1	Aufbau und Funktionsweise	51
3.6	Anwendung der Vorwärtskinematik zur Prädiktion taktiler Sensorwerte	55
3.6.1	Tiefeninformationen und taktile Abdrücke am Greifobjekt	56
3.7	Taktile Sensordatenanalyse und -auswertung	58
3.7.1	Statistische Beschreibung des Sensorfeldes - Momente	58
3.7.2	Determination unabhängiger Kontaktflächen	60
3.7.3	Skalierung taktiler Abbildungen	61
3.7.4	Hauptkomponentenanalyse (PCA)	63
3.7.5	Kontaktklassifizierung taktiler Eingaben	64
3.7.6	Der Hit-or-Miss-Operator	66
3.8	Taktile Rutschdetektion	67
3.8.1	Momentenanalyse zur Rutschdetektion	67
3.8.2	Die Fast Fourier Transformation (FFT) in der Rutschdetektion	68
3.8.3	Kontaktflächenbasierte Rutschdetektion	69
3.9	Taktile Eingabesprache	71
3.9.1	Gesten-basierte Eingabesprache	72
3.9.2	Kontaktfrequenzbasierte Eingabesprache	75
3.9.3	Interpretationsmöglichkeiten taktiler Eingaben	77
3.10	Zusammenfassung	77
4	Greifplanung für Reaktives Greifen	79
4.1	Ablauf der Semi-automatisierten Greifplanung	79
4.1.1	Primitive Grundkörper zur Griffpositionierung	81
4.1.2	Standardgriffe an geometrischen Grundkörpern	83
4.1.3	Grundkörper und Griffoptimierung	88
4.1.4	Der Semi-automatisierte Griffaufbau am Beispiel	94
4.2	Sensordatenprädiktion und Greifplanung	95
4.2.1	Die Sensordatenprädiktion im Semi-automatisierten Griffaufbau	96
4.3	Simulierte Reaktivität und Griffoptimierung	99
4.4	Zusammenfassung	100

5 Reaktive Greifskills	101
5.1 Reaktives Sicherheitskonzept	103
5.1.1 Autonomes, intuitives Ansteuerungskonzept für Mehrfingergreifer	103
5.1.2 Eigensicherheit des Mehrfingergreifers	106
5.1.3 Intuitive, sicherheitskritische Eingriffe	108
5.2 Reaktives Greifen	109
5.2.1 Die analytische Target - Funktion	111
5.2.2 Eigenkollisionsabhängige Target - Position	114
5.2.3 Griffaufbau bei nachgiebigen Objekten	115
5.2.4 Positions- und adaptive Kraftregelung	116
5.3 Reaktive Greifstrategie	122
5.3.1 Greifstrategie zur Überführung in die nominelle Greifposition	123
5.3.2 Greifstrategie zur Überführung in die Targetposition	127
5.3.3 Kraftsteuerung beim Griffaufbau	130
5.4 Reaktive Griffbewertung und Griffoptimierung	132
5.4.1 Griffbewertung	133
5.4.2 Kräftegleichgewicht im Mehrfingergreifer	137
5.4.3 Griffstabilisierung und -zentrierung	140
5.4.4 Umgreifoperationen	143
5.5 Reaktive Griffssicherung	145
5.5.1 Taktile Rutschdetektionen zur Griffstabilisierung	145
5.6 Zusammenfassung	150
6 Zusammenfassung und Ausblick	153
6.1 Ausblick	154
A Anhang	157
A.1 Abmessungen und Symbole der SDH2	157
A.2 Koordinatensysteme im Mehrfingergreifer	159
A.3 Kontaktspunktbeschreibung der taktilen Sensorik	160
A.4 Kenngrößen des Mehrfingergreifers	161
B Abbildungsverzeichnis	163
C Tabellenverzeichnis	167
D Literaturverzeichnis	169