

Rüdiger Spillner

Pick-By-Wire

Funktion, Auslegung und Eigenschaften eines Moduls zur kollaborativen Objekthandhabung durch Mensch und Roboter

Ingenieurwissenschaften

EBook-Ausgabe:

ISBN 978-3-8316-7029-1 Version: 1 vom 4.4.2014 00:00:00

Copyright© Herbert Utz Verlag 2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der Formelzeichen	IV
Verzeichnis der Abkürzungen	VII
1 Einführung	1
2 Grundlegende Eigenschaften des PBW Moduls	3
2.1 Systemmodell	3
2.2 Definitionen	4
2.3 Basale Eigenschaften	8
3 Seilbasierte Steuerung und Regelung	12
3.1 Einsatzvoraussetzungen	12
3.2 Regelungsstruktur	13
3.3 Ablauf	14
3.3.1 Grobpositionierung	15
3.3.2 Grobausrichtung	18
3.3.3 Lotrechte Positionierung	19
3.3.4 Verdrehungsauflösung	20
3.3.5 Verkipfungsauflösung	22
3.3.6 Annäherung	24
3.3.7 Verriegelung	25
3.3.8 Nebenfunktionen	26
4 Auslegung	27
4.1 Endeffektor, Objektpose, Bereitstellungssituation	27
4.2 Wahl von Seilanzahl und Messgrößen	27
4.3 Festlegung Seilabstand, Seilauslassdurchmesser und Messebenenposition	29
4.4 Berücksichtigung von Seilschwingungen	30
4.5 Wahl der Messprinzipien und Sensoren	32
4.6 Berücksichtigung der Bedieneranforderungen	36

4.6.1	Kräfte und Momente durch Auslenkung und Auszug	36
4.6.2	Anreichen des endeffektorseitigen Flansches	40
4.6.3	Führen des Flansches	41
4.6.4	Absetzen, Fixieren des Flansches am handzuhabenden Objekt	43
4.7	Sicherheitsaspekte	44
5	Wirtschaftlicher Einsatz	48
6	Umsetzung	51
6.1	Zielsetzung	51
6.2	Aufbau der Funktionsmuster	51
6.2.1	Ausgangssituation	51
6.2.2	Designentscheidungen	52
6.2.3	Übersicht der äußeren Modulbestandteile	52
6.2.4	Ausführung mit SmartCamera	53
6.2.5	Ausführung mit Zeilensensoren und Embedded FPGA	56
6.2.6	Vergleich der Ausführungsarten	57
6.2.7	Verriegelung und taktile Verkippungsauflösung	58
6.2.8	Programmablauf	60
6.2.9	Regelung	61
7	Funktionsnachweis	64
7.1	Gesamtablauf	64
7.2	Arbeitserleichterung und Kraftunterstützung	67
8	Eigenschaften	71
8.1	Kosten	71
8.2	Prozessdauer	71
8.3	Positionier- und Wiederholgenauigkeit	73
8.4	Seilzug- und Führkräfte	75
9	Resümee	79
9.1	Verbesserungspotenziale	79

9.2 Zusammenfassung	80
10 Literaturverzeichnis	82
11 Anhang: Herleitung der Berechnung der Reibung zwischen Seil und Modul	84

Verzeichnis der Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
\ddot{a}	[m/s ²]	Beschleunigung beim Manipulieren eines Objekts
C_a	[GE]	Hardwarekosten einer Automation
C_b	-	Proportionalitätsfaktor zur Schätzung der Betriebs- und Außerbetriebnahmekosten anhand der Hardwarekosten
C_e	-	Proportionalitätsfaktor zur Schätzung der Kosten von Ingenieursleistungen und Inbetriebnahme anhand der Hardwarekosten
C_h	[GE]	Hardwarekosten einer hybriden (kooperativen) Lösung
C_L	[GE/a]	Jahreskosten für zuordenbares Personal
$C1...Cn$	-	Konstanten für die Regelparameter des Pick-By-Wire Moduls
D	[a]	Abschreibungsdauer
$\Delta A, \Delta B, \Delta C$	[°]	Die bestimmte Winkeldifferenz zwischen Pick-By-Wire Modul und Flansch um die z-Achse, y-Achse, x-Achse
$\Delta RotX, \Delta RotY, \Delta RotZ$	[°]	Zulässige Lagetoleranz des Flansches beim Verriegeln des Pick-By-Wire Moduls
$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$	[m]	Die bestimmte Positionsdifferenz zwischen Pick-By-Wire Modul und Flansch in x-Richtung, y-Richtung, z-Richtung
$\Delta X_f, \Delta Y_f, \Delta Z_f$	[m]	Zulässige Positionstoleranz des Flansches beim Verriegeln des Pick-By-Wire Moduls
$\Delta X', \Delta Y', \Delta Z', \Delta X'', \Delta Y'', \Delta Z''$	[m]	Abgeleitete Positionstoleranzen
\vec{F}_f	[N]	Führkraft-Vektor beim Manipulieren eines Objekts
FM	[m]	Abstand zwischen Seilführung und Messebene
F_{r1}	[N]	Reibkraft zwischen Seil und Seilführung
F_{r2}	[N]	Reibkraft zwischen Seil und Seilauslass

F_{rn1}	[N]	Normalkraft der Reibkraft F_{r1}
F_{rn2}	[N]	Normalkraft der Reibkraft F_{r2}
F_{rsk}	[N]	Rückstellkraft des Seilzugs
f_{seil}	[Hz]	Grundfrequenz der Seilschwingung
F_x, F_y, F_z	[N]	Kräfte beim Manipulieren eines Objekts
F_{Zug}	[N]	Zugkraft am Seil bzw. entlang eines Seils
$\overrightarrow{F_{Zug,n}}$	[N]	Zugkraft-Vektor entlang des Seils n
\vec{g}	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
GE	-	Geldeinheiten
i, j	-	Zählindizes
J_{sp}	[kgm ²]	Trägheitstensor des manipulierten Objekts
KS1, KS2	-	Kartesische Koordinatensysteme
L	[m]	Abstand zwischen Pick-By-Wire Modul und Flansch
L_{frei}	[m]	Freie Länge des Seils
LZE	s	Laufzeitende
λ (lambda)	[°]	Auslenkwinkel, Winkel zwischen Modullot und Seil
m	[kg]	Masse eines geführten Objekts
m	-	Index zur Zuordnung der Mitarbeiter
$\overrightarrow{M_f}$	[Nm]	Führmoment-Vektor beim Manipulieren eines Objekts
MS	[m]	Abstand Messebene zu Seilende beim Verriegeln des Pick-By-Wire Moduls
$M_{seilmasse}$	[kg/m]	Massenbelag eines Seils
μ (my)	-	Reibungskoeffizient
n	-	Zählindex
RD	[m]	Abstand von der Mittelachse zur jeweiligen Messbereichsmittle des Flansches
$\overrightarrow{R_{gr,n}}$	[m]	Vektor vom Seilende des Seils n zum Griff am Flansch des Pick-By-Wire Moduls
R_j	-	Ressource

$\overrightarrow{R_{se,n}}$	[m]	Vektor entlang des Seils n vom Pick-By-Wire Modul zum flanschseitigen Seilende
$\overrightarrow{R_{sf}}$	[m]	Vektor entlang des Seils von der Seilführung in Richtung Seilende oder Rse
$\overrightarrow{R_{sp,n}}$	[m]	Vektor vom Seilende des Seils n zum Schwerpunkt des manipulierten Objekts
$\overrightarrow{R_{se}}$	[m]	Vektor entlang des Seils vom Berührungspunkt am Seilauslass hin zum Seilende
$\overrightarrow{R_{sr}}$	[m]	Vektor entlang des Seils von der Seilführung in Richtung Seilrolle/Seilzug
S	-	Anzahl der Arbeitsschichten pro Tag
SP	[m]	Schwerpunktcoordinate des manipulierten Objekts
ς (sigma)	[°]	Winkelhalbierende zwischen ζ und ξ
T_{hi}	[%]	Zeitanteil der betrachteten Kollaboration pro Einsatz bzw. pro Zyklus oder Takt
$v(x)$	[m/s]	Die geregelte Geschwindigkeit des Pick-By-Wire Moduls
$w(A)$	[°/s]	Die geregelte Winkelgeschwindigkeit um die z-Achse des Pick-By-Wire Moduls
$\vec{\omega}$ (omega)	[°/s]	Winkelgeschwindigkeit des manipulierten Objekts um dessen Schwerpunkt SP
ξ (xi)	[°]	Winkel zwischen den Modulloten der äußersten Modulposen vor Verkippungsauflösung des Pick-By-Wire Moduls
Z_{zr}	-	Zinssatz
ζ (zeta)	[°]	Äußerster Winkel zwischen Flanschlot und Seilverlauf vor Verkippungsauflösung des Pick-By-Wire Moduls

Verzeichnis der Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
d.h.	das heißt
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ggf.	gegebenenfalls
MRK	Mensch-Roboter-Kooperation
PBW	Pick-By-Wire
u.a.	unter anderen
z.B.	zum Beispiel

1 Einführung

Das Pick-By-Wire Modul (PBW Modul) ist ein Peripheriegerät mit welchem Industrieroboter ausgestattet werden können, um spezielle Formen einer Mensch-Roboter-Kollaboration (vgl. KRÜGER ET AL. 2009) zu ermöglichen. Das Modul wird hierzu zwischen Roboterflansch und Endeffektor befestigt und eine Datenkommunikation zwischen Modul und Robotersteuerung eingerichtet, vgl. Abbildung 1. Der Endeffektor kann vom Pick-By-Wire Modul abgekoppelt werden, wobei eine physische Verbindung über ein oder mehrere leicht gespannte Seile erhalten bleibt. Sensoren im Pick-By-Wire Modul erfassen die Auslenkung und ggf. die Auszugslänge der Seile. Die gemessene Positionsänderung der Seile wird bedarfsabhängig als Steuergröße für die Regelung von Roboterbewegungen verwendet. Eine Mensch-Roboter-Kooperation ergibt sich aus der aufgabenbezogenen Beeinflussung von Seilauszug oder -position durch den Menschen. Das Modul lässt sich damit auch als Eingabemedium beschreiben.

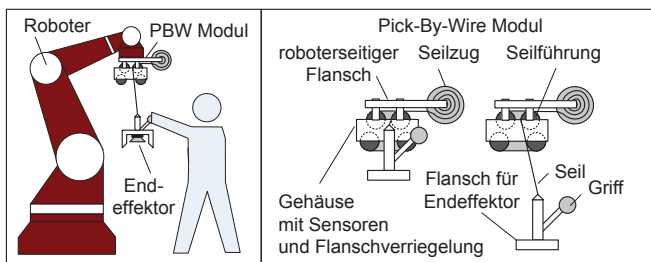


Abbildung 1: Skizze eines Pick-By-Wire Moduls und Beschreibung der skizzierten Elemente

Mit dem Modul lässt sich eine Kollaboration in verschiedener Weise darstellen, wie Abbildung 2 illustriert. So ist ein Einsatz zum kollaborativen Greifen, Transportieren, Positionieren und Absetzen von Objekten, wie auch zum Führen von Werkzeugen oder zur Programmierung möglich. Durch die Kollaboration sind eine Unterstützung der Körperkraft, teils auch eine Verbesserung der Körperhaltung des Ausführenden erzielbar, was den Einsatz des Moduls als Hebe-, Transport- oder Positionierhilfe erschließt.

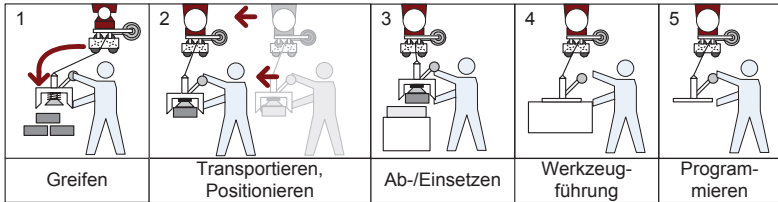


Abbildung 2: Anwendung und kollaborativer Einsatz des Pick-By-Wire Moduls

Die Hauptanwendung des Moduls besteht darin einen kollaborativen Greifvorgang zu ermöglichen. Hierzu löst ein Mitarbeiter den Endeffektor vom PBW Modul und befestigt diesen auf das zu greifende Objekt. Der Roboter folgt dann den Seilen bis zum Endeffektor, wo dann das PBW Modul den Endeffektor bzw. dessen Flansch greift und sichert. Die weitere Handhabung des gegriffenen Objekts kann dann automatisch ablaufen. Tabelle 1 fasst die Vorteile eines solchen Einsatzes zusammen.

Tabelle 1: Allgemeine Vorteile des PBW Moduls für das kollaborierende Greifen

Stichwort	Erklärung
Simplizität	Einfaches, robustes Funktionsprinzip
Flexibilität	Funktion und Modul sind unabhängig von Objekt oder Endeffektor
	Endeffektor ist abwechselnd von Mensch und Roboter einsetzbar
Assistenz	Entlastung von Gewichtskräften von Objekt und Endeffektor
Bedienung	Mitarbeiter kann sensomotorische und kognitive Fähigkeiten einbringen
	Intuitive Bedienung; vorhersehbares Bewegungsverhalten des Roboters
Sicherheit	Manuelle Seilmanipulation ist auch bei Stillstand des Roboters möglich
	Manuelle Seilmanipulation erlaubt Distanz vom Roboter

Die anderen Anwendungsfelder werden als Ergänzungen gesehen, die die Einsatzflexibilität des PWB Moduls erhöhen. Bei diesen Anwendungen besteht das wesentliche Funktionsprinzip darin, dass das handzuhabende Objekt (Bauteil, Werkzeug, Eingabegerät) am Seil vom Modul herabhängt und die vom Mitarbeiter auf das Objekt aufgeprägten translatorische oder rotatorische Bewegungen vom Roboter nachvollzogen werden. Da hier der Effektor bzw. das Werkzeug nicht am PBW Modul fixiert werden, werden deren Gewichtskräfte über die Seile oder zusätzliche Vorrichtungen übertragen. Optional kann der Seilauszug durch programm- oder mitarbeitergesteuerte Bremsen oder Aktuatoren eingestellt werden.