



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

3D TISKÁRNA TYPU SCARA

SCARA 3D PRINTER

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Batelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

BRNO 2024



Semestrální práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Tomáš Batelka

ID: 243511

Ročník: 3

Akademický rok: 2024/25

NÁZEV TÉMATU:

3D tiskárna typu SCARA

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se a nastudujte kinematiku 3D tiskáren typu SCARA. Proveďte srovnání jednotlivých typů kinematik. Navrhněte konstrukční řešení SCARA mechanismu a proveďte výběr komponentů, pro budoucí stavbu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího semestrální práce.

Termín zadání: 16.9.2024

Termín odevzdání: 7.1.2025

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem práce je navrhnout kompletní 3D tiskárnu s kinematikou SCARA a implementovat kinematiku pro Klipper firmware.

KLÍČOVÁ SLOVA

Klíčová slova v originálním jazyce

ABSTRACT

Překlad abstraktu (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

KEYWORDS

Překlad klíčových slov (v angličtině, pokud je originálním jazykem čeština či slovenština; v češtině či slovenštině, pokud je originálním jazykem angličtina)

BATELKA, Tomáš. *3D tiskárna typu SCARA*. Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie, 2025. Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení autora: Tomáš Batelka
VUT ID autora: 243511
Typ práce: Bakalářská práce
Akademický rok: 2024/25
Téma závěrečné práce: 3D tiskárna typu SCARA

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno
.....
podpis autora*

*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské/diplomové/disertační práce panu doc. Ing. Petru Vyroubalovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Obsah

Úvod	21
1 Kinematika	23
1.1 Souřadný systém	23
1.2 Kinematická transformace	23
1.2.1 Přímá transformace	23
1.2.2 Nepřímá transformace	23
1.3 Kinematiky používané v aditivní výrobě	23
1.3.1 Kártézská	23
1.3.2 SCARA	23
1.3.3 Delta	23
1.3.4 Polární	23
2 Implementace kinematiky scara do Klippy	25
2.1 Přímá kinematika	25
2.2 Inverzní kinematika	25
Závěr	27
Literatura	29
Seznam symbolů a zkratk	31
Seznam příloh	33

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výpisů

Úvod

Tato práce se zabývá konstrukcí a řízením 3D tiskárny s kinematikou SCARA. Základní model vychází z open-source projektu x-scara

Test cilu

1 Kinematika

1.1 Souřadný systém

1.2 Kinematická transformace

1.2.1 Přímá transformace

1.2.2 Nepřímá transformace

[1]

1.3 Kinematiky používané v aditivní výrobě

FFF 3D tiskárny využívají především paralelní kinematiku

1.3.1 Kártézská

Tiskárny s kartézskou kinematikou jsou nejrozšířenější a zároveň nejjednodušším typem kinematiky FFF tiskáren. Kinematika vyžaduje tři krokové motory, jeden pro každou z os. <https://people.ciirc.cvut.cz/hlavac/TeachPresEn/51Robotics/11KinematicsRobot.pdf>

Portálová (gantry)

Portálová kinematika je v současné době nejrozšířenější kinematika a to díky jednoduchosti konstrukce a jednoduchosti kinematické transformace. Tato kinematika vyžaduje nejméně čtyři krokové motory. Tedy jeden pro každou z os. Nejpopulárnější je však tiskárna Prusa i3 navržena Josefem Průšou. Tento typ tiskáren využívá krokové motory čtyři, tím se eliminuje prověšení ramene osy x. Ačkoliv jsou tyto tiskárny kompaktní, tak při tisku vyžadují v ose y větší prostor pro pohyb podložky.

CoreXY

CoreXZ

1.3.2 SCARA

1.3.3 Delta

1.3.4 Polární

2 Implementace kinematiky scara do Klippy

Pro další výpočty je potřebné znát Elbow Crosstalk Ratio (převodový poměr ozubených řemenic v ose ramene vůči řemenici v ose kloubu).

$$ECR = \frac{n_S}{n_E} \quad (2.1)$$

2.1 Přímá kinematika

2.2 Inverzní kinematika

Nejprve je třeba kompenzovat offset polohy TCP v osách x a y.

Dalším krokem je výpočet vzdálenosti od počátku.

$$hypot = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (2.2)$$

Dále se vypočítají úhly ramen ϕ_S (shoulder) a ϕ_E (elbow).

$$\phi_S = \arctan2(x, y) - \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot hypot}\right) [\text{rad}] \quad (2.3)$$

kde L_1 a L_2 jsou délky ramen.

$$\phi_E = \frac{\phi_S}{ECR} + \arccos\left(\frac{x^2 + y^2 + L_1^2 + L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}\right) [\text{rad}] \quad (2.4)$$

kde ECR je Elbow Crosstalk Ratio, L_1 a L_2 jsou délky ramen.

Následně stačí převést úhel v radiánech na stupně.

$$\Phi_S = \phi_S \cdot \frac{180}{\pi} [^\circ] \quad (2.5)$$

$$\Phi_E = \phi_E \cdot \frac{180}{\pi} [^\circ] \quad (2.6)$$

Závěr

Shrnutí studentské práce.

Literatura

- [1] Kolíbal, Z.: *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, první vydání. vydání, 2016, ISBN 978-80-214-4828-5.

Seznam symbolů a zkratek

KolikMista pouze ukázka vyhrazeného místa

TCP poloho koncového bodu – Tool Center Point

f_{vz} vzorkovací kmitočet

Seznam příloh