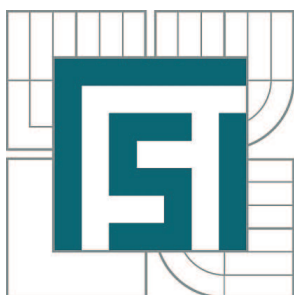


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTICS

ČLÁNKOVÉ ROBOTY

LINK ROBOTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. RADIM KOLAJA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. SIMEON SIMEONOV, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Radim Kolaja

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Článekové roboty

v anglickém jazyce:

Link robots

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh kinematického modelu článekového robota

Zpracování 3D modelu a animace robotů.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza konfigurace článekových robotů
2. Návrh kinematického modelu článekového robota
3. Zpracování 3D modelu a animace robotů.

Seznam odborné literatury:

Talácko, J.: Automatizace výrobních zařízení. Praha, ČVUT, 2000.

Matička, R., Talácko, J.: Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů, Praha

Kolíbal, Z.: Průmyslové roboty I.-Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů

Talácko, J.- Matička, R.: Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. ČVUT, Praha 1995

Bělohoubek, P.-Kolíbal, Z.: Průmyslové roboty IV. VUT, Brno 1993

<http://roboter.industrienet.de/>

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.

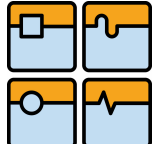
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 26.11.2010

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 4
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

ABSTRAKT

Tato diplomová práce pojednává o článkových robotech pro speciální aplikace v členitých prostorech. Úvod práce zahrnuje rozdělení a vývoj v oboru manipulační techniky. Dále se zabývá manipulátory s řetězovou strukturou. V návaznosti na popsané typy článkových robotů byl zpracován kinematický model a následně provedena 3D konstrukce v systému Solidworks. V závěru práce je vypracována vizualizace zhotoveného manipulačního ramene.

Klíčová slova

Článkový robot, manipulátor, SimMechanics, Snakes-arm robot

ABSTRACT

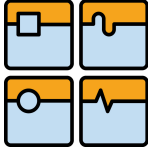
This thesis deals with articulated robots for special applications for confined spaces. Home work includes the distribution and development in the field of handling technology. It also deals with the handlers chain structure. Following the described types of articulated robot kinematic model was developed and subsequently implemented the 3D design in SolidWorks. The conclusion is drawn visualizations made-handling arm.

Key words

Link robot, manipulator, SimMechanics, Snakes-arm robot

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLAJA, Radim. Článkové roboty: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 45 s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Simeon Simeonov, CSc.

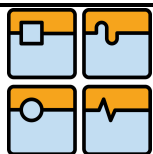
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 5
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a použil pouze prameny uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 27. 5. 2011

.....
podpis

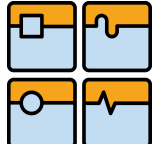
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 6
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Simeonu Simeonovi, CSc. za odborné vedení a ochotný přístup při vypracování diplomové práce.

OBSAH

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
1. Úvod	8
2. Nástin vývoje robotů a manipulátorů	9
2.1 Historie manipulačních zařízení	9
2.2 Současné chápání pojmu robot	11
3. Klasifikace a třídění průmyslových robotů a manipulátorů	12
3.1 Funkční složky manipulátorů a průmyslových robotů	12
3.2 Generace robotů	13
3.3 Rozdělení manipulačních zařízení s jmenovitými zástupci	14
3.3.1 Jednouúčelové manipulátory	15
3.3.2 Univerzální manipulátory	16
3.3.2.1 Synchronní manipulátory	16
3.3.2.2 Programovatelné manipulátory	18
4. Robotické systémy vyšších generací	21
4.1 Adaptivní průmyslové roboty	21
4.1.1 Adaptivita a učení se	21
4.1.2 Řídicí systémy	23
4.2 Roboty s prvky umělé inteligence	25
5. Struktury konstrukcí průmyslových manipulátorů	26
5.1 Sériová struktura řazení kinematických dvojic	26
5.2 Paralelní struktura řazení kinematických dvojic	30
6. Stavba manipulátoru	31
6.1 Sestavení řetězce	32
6.2 Kinematická dvojice	34
6.3 Princip orientování	35
6.4 Způsoby pohonu	36
7. Návrh konstrukce člankového robotu	37
7.1 Návrh akčního řetězce člankového robotu	37
7.2 Realizace konstrukce člankového robota	39
7.2.1 Chapadlo	39
7.2.2 Ovládací mechanismus	40
7.3 Kinematický model člankového robota v prostředí SimMechanics	42
7.3.1 Popsis prostředí	42
7.3.2 Simulační model robota	43
7.3.3 Animace pohybu člankového robota	43
10. ZÁVĚR	46
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	47
SEZNAM PŘÍLOH	49

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 8
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá tématem článkových robotů. Tyto mechanismy nalézají využití v takových oborech manipulace, kde je uplatnění konvenčních strojů nemožné či neefektivní. Výhody těchto řetězených struktur spočívají v pohybovém aparátu, který se vyznačuje flexibilitou při překonávání překážek v prostoru, nízkou energetickou náročností, malými rozměry a vysokou efektivitou. Ačkoli je oblast sériových mechanismů určených pro manipulaci ve výrobě nebo i jiném odvětví již značně ovládnuta, objevují se stále nové prvky a vzory ke zlepšení a zdokonalení těchto struktur. Globální snaha snižovat náklady výrobního procesu je hnacím motorem k nalézání lepších řešení než jsou ta stávající. V současné době se v oblasti automatizace výroby preferuje zavádění jednoduchých principů z důvodu úspory energie. Jako spolehlivý zdroj nových nápadů a inspirace se ukázala být příroda, jejíž základy jsou v současnosti středem zájmu mnohých výzkumných center v oblasti strojírenství.

Oblast automatizace výroby patří k předním odvětvím strojírenského průmyslu, a s nástupem výkonné výpočetní techniky nastal rozmach uplatňování automatizace i při různých, dříve manuálně ovládaných procesech.

Téma z oblasti mechanizace a automatizace jsem si pro zpracování diplomové práce vybral z důvodu svého budoucího profesního zaměření. V praxi se bez znalostí o uplatňování simulačních nástrojů dnes už neobejdeme. Proto jsem se chtěl v této problematice více zorientovat a získat přehled o možnostech simultánního modelování pohybových mechanismů.

Cílem práce je uceleně zanalyzovat dosavadní konfigurace článkových robotů, navrhnout kinematický model, zhotovit k němu odpovídající 3D model a provést vizualizaci schopností manipulátoru.

Diplomová práce se skládá ze tří částí. První část vychází ze studia odborné literatury a shrnuje důležité poznatky potřebné k uchopení problematiky článkových robotů. Nejprve je probrán vývoj manipulačních zařízení, jak z hlediska historického tak technického. Poté se zaměřuji na aplikace konstrukcí s článkovou strukturou. Druhá část je věnována realizaci kinematického modelu. V poslední části se věnuji zpracování výrobní dokumentace.

2. Nástin vývoje robotů a manipulátorů

2.1 Historie manipulačních zařízení

Snahu člověka vedoucí ke zhotovení zařízení pracujících samočinně je možno sledovat až do hluboké historie. Příkladem mohou být legendy o králi Minoovi, pro kterého Hefaistos zhotovil železného člověka. Tato figurína pracovala na hydraulickém mechanismu umístěném uvnitř a jejím cílem bylo ukazovat zákonodárné desky v chrámu [1]. Nejvíce můžeme toto nutkání připsat omezením možností lidí, ať už z hlediska mechanických schopností nebo i emocionálním pocitům. Člověk se snahou zvyšovat své požadavky a cíle dostává daleko za hranice svých schopností, a tak vznikala potřeba smazat nedostatky při vykonávání činnosti sahající za tuto mez.

Mezi první stroje, přibližně v období starověku, patřily právě zmíněné figuríny lidí nebo zvířat. Dále pak různé hodinové mechanismy a automaty na podávání rozličných předmětů. V tomto období se ovšem začaly mechanismy orientovat na válečná zařízení jako jsou katapulty, dobývací stoje apod.

Období středověku obohacuje naši historii o Leonarda da Vinciho, všestrannou renesanční osobnost, a především významného vynálezce a konstruktéra. Po tomto velkém umělci zůstalo mnoho materiálu o jeho výtvorech z kloubových mechanismů (OBR.1) a teleoperátoru.



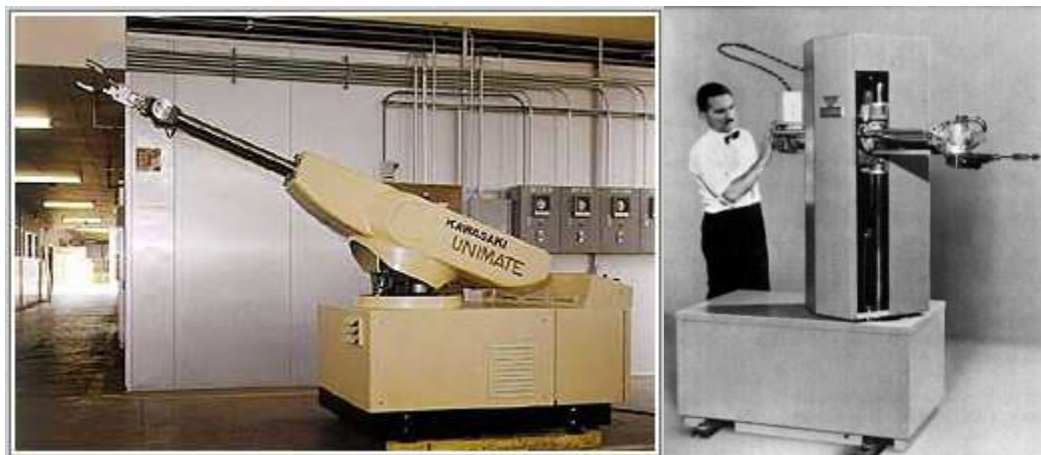
OBR.1 „Robot Bubeník“ zhotoven podle skic Leonarda da Vinciho[10]

Na začátku novověkého období se konstrukce orientuje na různá zábavná zařízení pro zábavu dětí urozených vrstev. Tehdy vznikaly také různé pohyblivé orloje nebo jesličky. Konec 17. a začátek 18. století zažívá rozkvět přírodní vědy, která podporuje svou tvůrčí práci mechaniku a fyziku. Získané vědomosti z akustiky byly uplatňovány mechaniky ke zhotovování samočinně hrající skřínky vydávající jednoduché zvuky až po mluvící figuríny. Další období si získalo oblibu v konstrukci robotů androidu. Chodící strojky s podobou zvířat nebo též lidí konaly různé úkony.

Příkladem je konstrukce písáře sedícího u stolu a písícího naprogramovaný text. Za zhotovením stáli syn a otec Drozeovi. Drozeovi ve své době posunuli konstrukci mechanismů figurín velmi dopředu. Dále pak v 19. století vznikaly primitivní mechanismy, jako jsou pohyblivé terče na poutích.

Zlom můžeme připsat moderní době, kdy se po následcích průmyslové revoluce konstruktéři samočinných strojů začali orientovat na sériovou a hromadnou výrobu. Zde se brzy narazilo na limity pracovních schopností člověka. Rostoucí fyzické a duševní nároky kladené na něj, vedly konstruktéry ke zhotovení zařízení pomocných při práci, či k jeho úplnému nahrazení ve výrobě.

Prvotně bylo směřováno k mechanizování a automatizování výrobních strojů, ať už k jednoúčelovému nebo i univerzálnímu použití. Dále vznikaly automatické obráběcí linky a dokonce i jednoúčelové automatizované provozy [1]. S rostoucí efektivností výrobních zařízení dochází ke změně poměrů časových ztrát. Svoji významnou roli hrají i vedlejší a pomocné operace, které dosud provádí člověk. A tak od poloviny 20. století dochází také k automatizaci vedlejších úkonů. Jde o vývoj zařízení, která manipulují s předměty a provádějí některé výrobní úkony – svařují, nastříkují barvu apod. Jako první vznikali jednoúčelové manipulátory, popřípadě synchronní manipulátory pro potřeby jaderného průmyslu. V polovině 60. let 20. století se objevují první konstrukce univerzálních manipulátorů (Unimate, Versatran OBR.2).



OBR. 2 Průmyslový robot UNIMATE(Unimation Inc., USA 1958) [8], VERSATRAN (AMF Corp., USA 1961) [9]

Těmto manipulátorům, které se již vyznačují vyšší úrovní řízení realizovaného elektronickým ústrojím, se (často neprávem) začalo říkat průmyslové roboty. Dále následují další konstrukce obdobných univerzálních manipulátorů – robotů nasazovaných v nejrůznějších průmyslových oborech.

V posledních desetiletích pak obor automatizace dosáhl velkého postupu vpřed díky rychlému růstu vývoje počítačové techniky. S jejím užitím vzešli nové výkonné stroje jako číslicově řízené stroje, automatické linky nebo i speciální jednoúčelové stroje. Nepostradatelnou součástí stavby těchto výkonných sestav jsou řídicí podsystémy. Nejenže zrychlují funkce mechanismů, ale také zvyšují a ulehčují přizpůsobení a korekci automatů při úpravách výrobního procesu.

2.2. Současné chápání pojmu robot

V oblasti robotiky se stále hledá vhodná definice jak pro manipulátor, průmyslový robot, tak i pro samotného robota. Ovšem pojem „robot“ je ve světové literatuře definován poněkud nejednotně. K rozdělení manipulátorů a robotů bývá často chybně užito počtu stupňů volnosti, což svědčí o nepochopení základní filozofie robotů[2].

Robot je tedy popsán jako mechanismu mající většinu z následujících vlastností popsaných v lit. [2,s36-37]:

- 1) **Manipulační schopnost**, tj. schopnost uchopovat objekty, přenášet je a provádět na nich úpravy, případně vykonávat montážní činnost a manipulaci s nástroji a to i ve smyslu práce s nimi, tedy pracovat jako výrobní zařízení (technologický robot).
- 2) **Univerzálnost**, což v daném smyslu znamená, že zařízení neslouží pouze jednomu účelu, ale po změně programu, chapadel nebo nástrojů, je možné jej použít i pro jiné účely a na jiném pracovišti.
- 3) Vazbu s prostředím, tj. **možnost vnímání** pomocí čidel (senzorů) napodobujících smysly člověka. Příkladem může být vizuální vazba, odpovídající u člověka zraku, akustická vazba sluchu, doteková vazba hmatu, popřípadě vazba čidly, přinášející informace, jejichž příjem je pro člověka nemožný.
- 4) **Autonomnost** chování, tj. schopnost vykonávat automaticky složitou posloupnost úkolů podle určitého programu. Důležitý je zejména případ, kdy tento program není pevný (daný konstrukcí, jako například u klasických řídicích automatů), ale je volitelný buď člověkem, nebo automaticky vlastním zařízením.
- 5) Prostorová soustředěnost jednotlivých složek (**integrovanost***) pokud možno do jednoho celku. Toto se však přímo netýká řídicího systému, zvláště jde-li o větší počítač, který může robot řídit i bezdrátově. Důsledkem integrovanosti je mimo jiné i snadná transportovatelnost, v některých případech lze požadovat, aby robot byl mobilní.
- 6) Označení „**robot**“ je tedy vhodné především pro manipulační mechanismy, vykonávající úkony, blížící se typickým úkolům člověka, prováděné s „lidskou“ obratností a pro manipulační mechanismy řízené počítačem. Neznačená to však, že robot se musí svými manipulačními schopnostmi úzce blížit manipulačním schopnostem lidské ruky, která má celkem 27 stupňů volnosti.

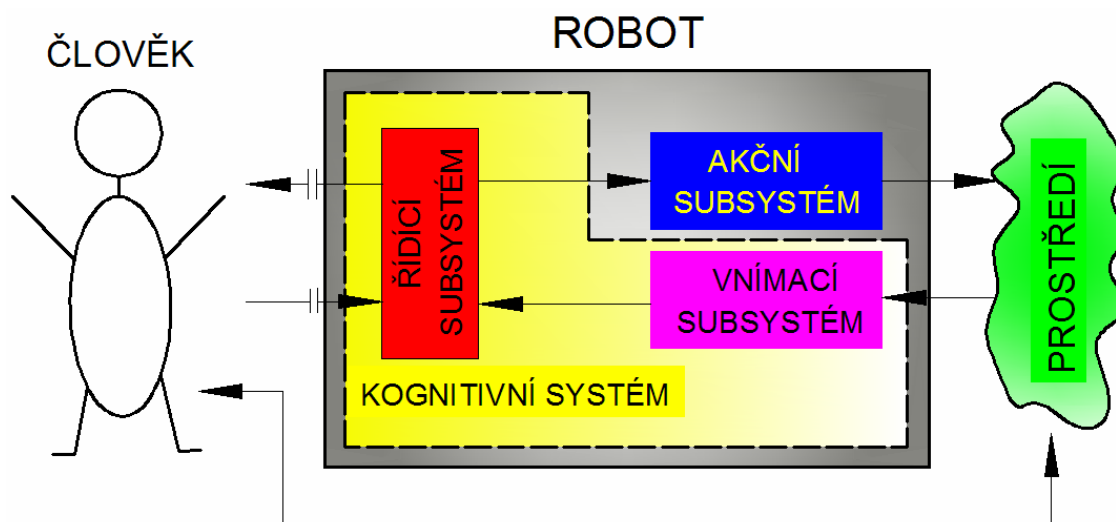
* zde pojem integrovanost neznamena bezprostřední spojení s výrobním strojem

3. Klasifikace a třídění průmyslových robotů a manipulátorů

V konstrukci manipulátorů a průmyslových robotů je použito mnoho kooperujících složek. Právě správná vzájemná součinnost těchto poddílů, jenž vykonávají dílčí funkce, má za následek konečnou funkci systému.

3.1. Funkční složky manipulátorů a průmyslových robotů

Robot, jako ústrojí začleněné do výrobního procesu, platně zastupuje člověka v programu výroby na místech s vysoce namáhavou nebo naopak lehkou, avšak psychicky náročnou prací. Ne vždy ovšem zůstávají podmínky tohoto provozu stejné. Nelze tedy pohlížet na robota jako na uzavřený celek, který nevstupuje do tohoto řetězce. Z těchto podmínek vzniká společná interakce. Při studiu činnosti robotů, ať už experimentálním či teoretickým, nevstupuje do sledovaného procesu jen dvojice: **robot** → **prostředí**, ale ve skutečnosti vždy trojice : **člověk** → **robot** → **prostředí**. Z tohoto hlediska představují tedy průmyslové roboty (a roboty jako takové taktéž) integrovaný kybernetický systém, skládající se podle OBR.3 ze tří subsystémů. Z konstrukčního pohledu nazýváme uspořádání, v němž se dílčí celky mnohdy vzájemně prolínají, *nestavebnicové* provedení. Druhý princip provedení tvoří uzavřené konstrukční a funkční skupiny - *stavebnicové, modulární* provedení. [2]



OBR. 3 Systémové pojetí robotů [2]

První v řetězci vystupuje vnímací subsystém, který zprostředkovává vazbu s prostředím. Obsahem sestavy jsou čidla (senzory) složené z prvků pro monitorování fyzikálních charakteristik hlídané veličiny. Senzory subsystému zpracovávají dva druhy informací:

- vnitřní informace
- vnější informace z pracovního prostředí.

Duší robota je řídicí a rozhodovací subsystém. Představuje „mozek“ soustavy. Cílem řídicího ústrojí je zpracovávat získané informace z předchozího vnímacího subsystému a informace, které jsou uloženy v jeho paměti. Na základě získaných informací počíná plánování a rozhodování úkonu, které se musí provádět ke splnění požadovaného cíle. Řídicí subsystém se skládá ze zařízení pro:

- vytvoření programu
- zapamatování programu
- redukci programu
- vykonání programu

Jak je znázorněno v OBR. 3, spojením vnímacího a řídicího subsystému vzniká kognitivní systém. Inteligentní (kognitivní) roboty tzv. 3. generace jsou navíc vybaveny supervizorem, jako složkou nadřazenou všem podsystémům, jejichž činnost supervizor koordinuje a usměrňuje. Jeho činnost je analogická supervizoru v operačních systémech počítačů. Kognitivními systémy se zabývá teoretická robotika.

Akční subsystém, možno spíše označit jako akční systém (stejná úroveň jako kognitivní systém), ovlivňuje prostředí na které působí tak, že dochází k jeho změnám. Svým charakterem tedy akční systém spadá do oblasti technické robotiky [2].

3.2. Generace robotů

Podle míry inteligence se průmyslové roboty rozdělují do vývojových generací, přičemž různé literární prameny přistupují k tomuto problému opět značně odlišně. Vzhledem k právem předpokládanému budoucímu rozvoji robotů se posuzují někdy všechny současné průmyslové roboty jako nultá generace robotů, zatímco současné špičky světového výzkumu inteligentních robotů se zařazují do generace první. Toto třídění má jistě své oprávnění, avšak rozmanitost a různorodost současných průmyslových robotů je taková, že vyžaduje své další třídění. Proto genesis robotů lépe odpovídá (s přihlédnutím k rozdělení manipulačních zařízení) následující dělení do tří generací:

1. generace – jedná se o roboty s programovým řízením (programovatelné roboty). Tyto roboty jsou určeny pro vykonávání pevně naprogramovaných postupných operací. Jednoduchost změny programu učinila tyto roboty dostatečně univerzálními a použitelnými pro různé druhy úkolů. Též lze říci, že jsou to programovatelné manipulátory, respektive průmyslové roboty nižší (nízké) úrovně. První generace se omezuje hlavně na tzv. pohybové aplikace, vyjádřené souslovím „zdvihnout a umístit“ (pick and place). 1,5. generace (1. až 2. generace) využívá pro svou činnost již senzory a vykonává funkci „udělej a ověř“ (make and test).

2. generace – jsou roboty vybavené vnímáním. Liší se od programovatelných robotů 1,5. generace především větším sortimentem a počtem senzorů, a to jak vnějších (optických, hmatových aj.), tak vnitřních (snímačů tlaku, polohy, momentů apod.). Dále disponují i mnohem složitějším řízením, které se nevyznačuje pouze

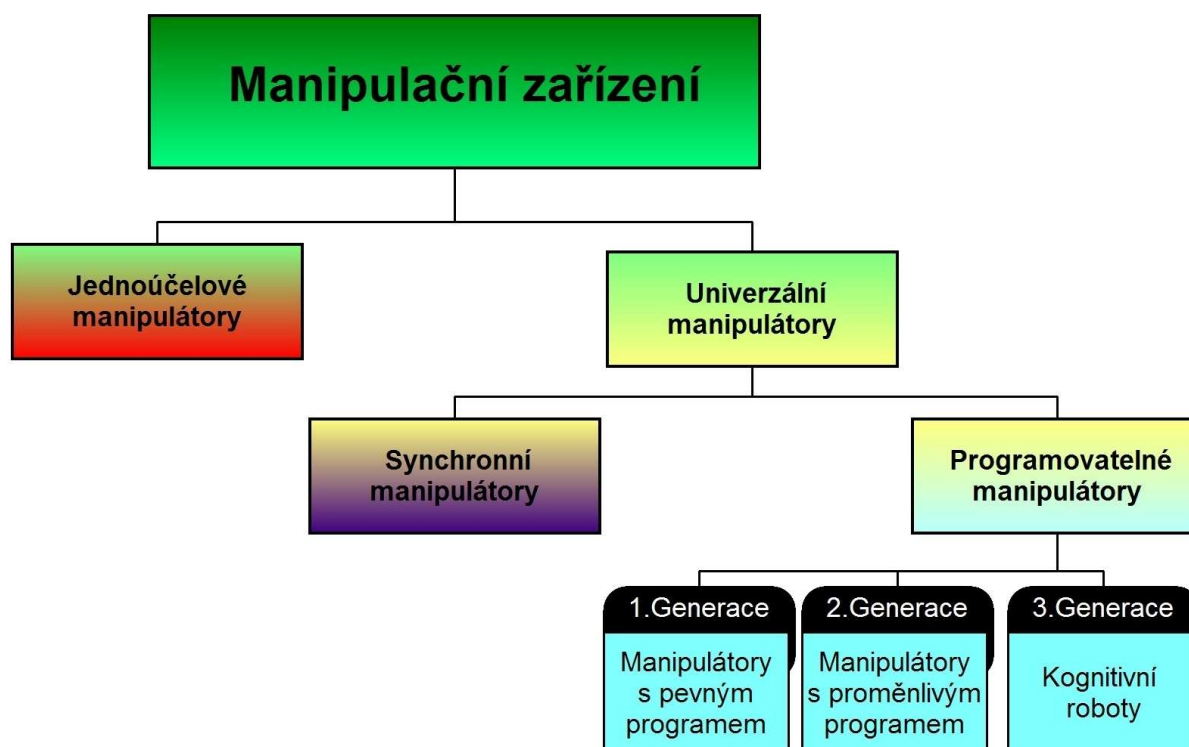
řízením pohybu robotu, jako u 1. generace, ale potřebuje ke své realizaci řídicí počítač. Jsou to průmyslové roboty vyšší úrovně, roboty, které jsou vybavené koordinačním systémem „oko-ruka“ (eye-hand). 2.5. generace (2. až 3. generace) bude představována roboty, zabezpečujícími komplexní „perceptuálně-motorické“, tj. „vnímatelně-pohybové“ funkce.

3. generace – zahrnuje inteligentní roboty. Principiálně se liší od robotů 2. generace složitostí a objemem řídicího systému, zahrnujícího elementy umělé inteligence. Inteligentní roboty nejsou určeny pouze k imitaci fyzické činnosti člověka, ale též pro automatizaci jeho intelektuální činnosti. Charakteristickou vlastností inteligentních robotů je jejich schopnost k učení a adaptaci (autonomnost) v procesu řešení úloh (tzv. kognitivní roboty). Mimo jiné má mít 3. generace základní inteligenci pro diskrétní manipulaci se součástkami, zejména při montáži.

Toto uvedené roztrídění robotů ovšem neznamená, že jedna generace vystřídá náhle generaci další, ale že se jedná o spojitý vývoj s překrýváním. Roboty nižší generace budou mít i nadále v určitých podmínkách výroby své uplatnění, a to i vzhledem k ekonomické výhodnosti jejich nasazení [2].

3.3. Rozdělení manipulačních zařízení s jmenovitými zástupci

Podle úrovně řídicího ústrojí, funkčního určení nebo složitosti provedení popsaných v předchozích kapitolách vzniká jednoduchá hierarchická tabulka

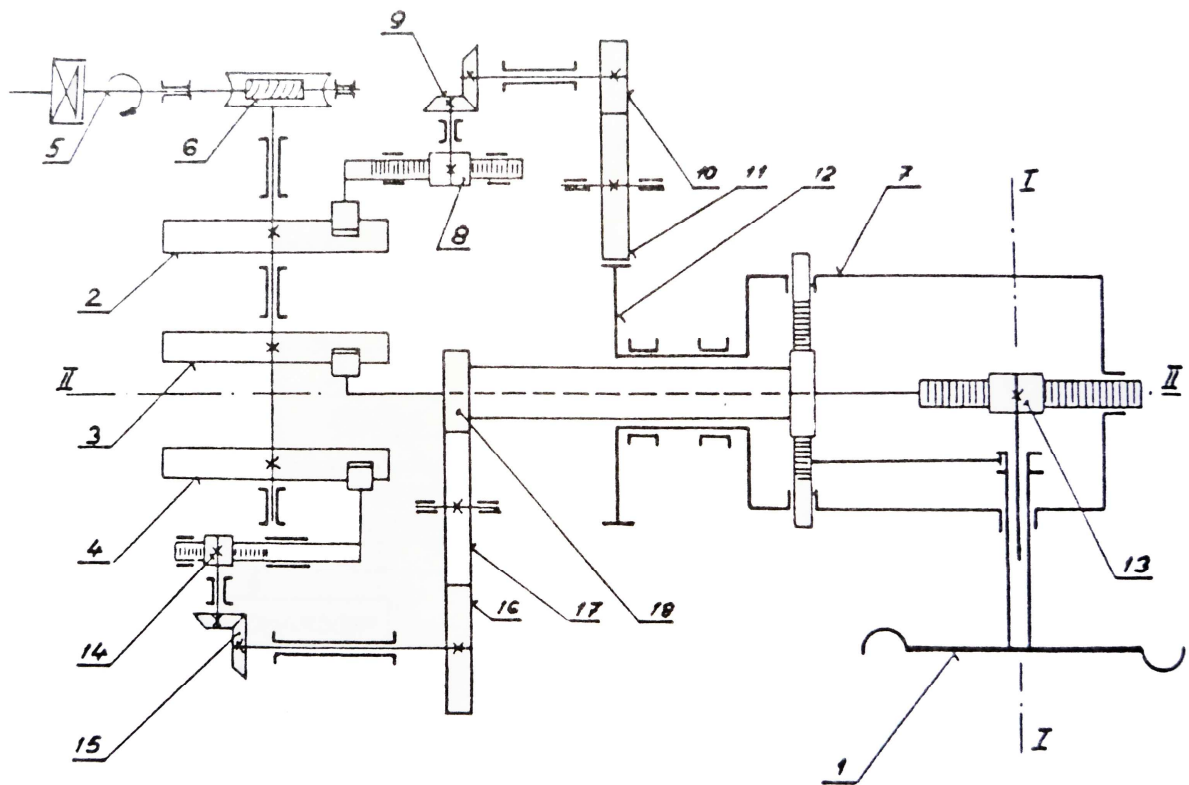


OBR. 4 Rozdělení manipulačních zařízení [2]

3.3.1. Jednoúčelové manipulátory

Jednoúčelové manipulátory nacházejí své uplatnění zejména při automatizaci manipulačních prací u jednoúčelových strojů a linek pro velkosériovou a hromadnou výrobu. Jsou často integrální částí obsluhovaného stroje, jenž je řídí. Někdy nemívají vlastní pohon (např. transfery u tvářecích strojů), tvarově i konstrukčním provedením bývají podřízeny stroji. Mají omezenou funkci. Nazývají se často „podavači“ nebo „autooperátory“. Název „jednoúčelové“ vystihuje skutečnost, že jsou určeny pro manipulaci s jedním určitým předmětem nebo s předměty geometricky si podobnými, při malém rozsahu změn rozměrů. [3]

Významným příkladem zastupujícím jednoúčelové manipulátory jsou mechanismy pro výměnu nástrojů u obráběcích center. Názorně je na OBR. 5 zakresleno kinematické schéma automatické výměny nástroje. Mechanismus má 3 stupně volnosti, a to 2 rotační a 1 translační.

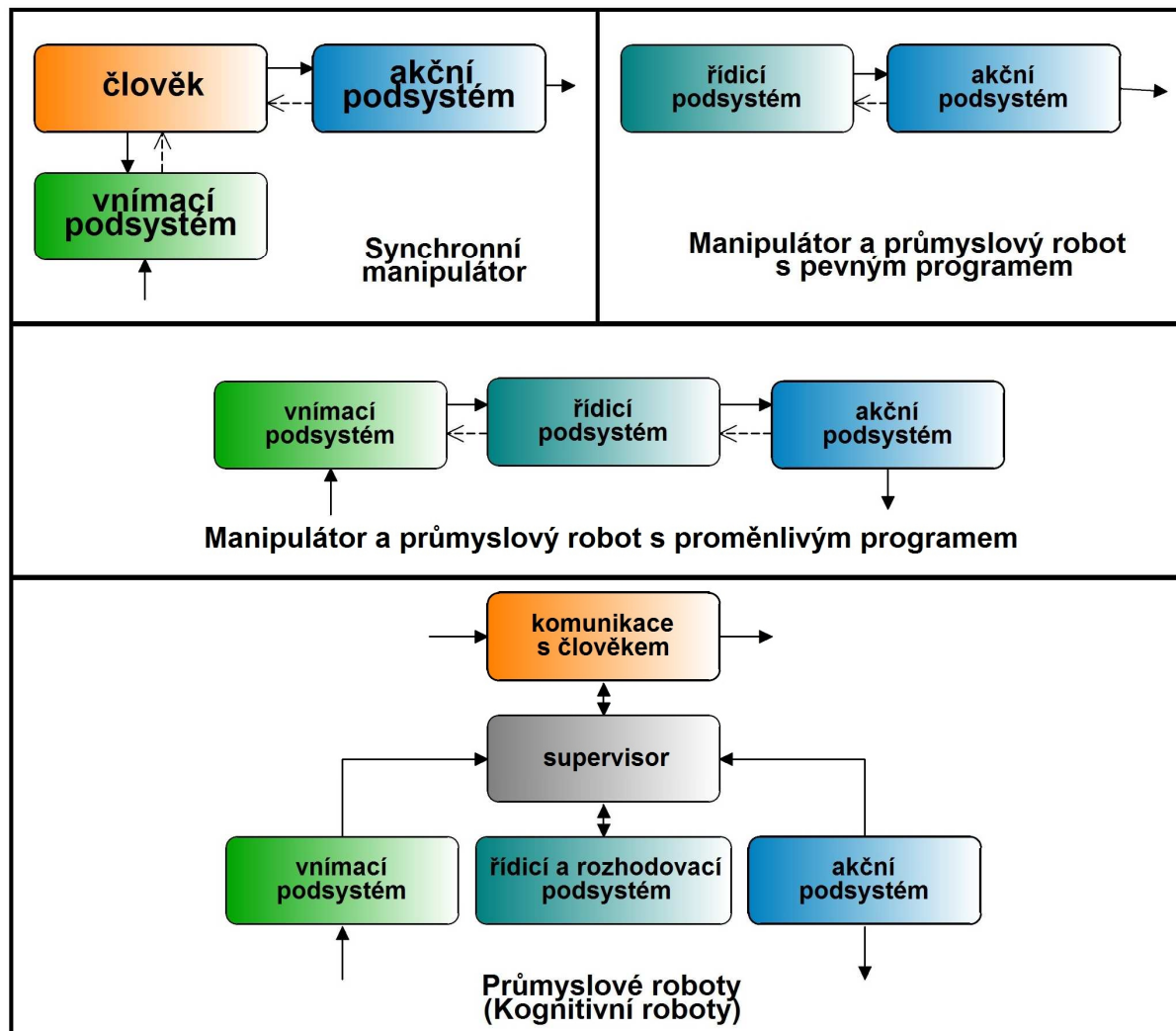


OBR. 5 Kinematické schéma manipulátoru pro automatickou výměnu nástrojů [3]

Dalším příkladem mohou být manipulátory pro zakládání či vykládání polotovarů. Například manipulátor k překládání dlouhých hutních profilů ze svazkových zakladačů na pásový dopravník.

3.3.2. Univerzální manipulátory

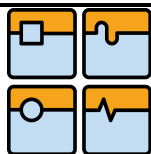
Protějšek jednoúčelových manipulátorů tvoří univerzální manipulátory, které mají vlastní řízení a jsou provedením, pohonem a funkcí na obsluhovaném stroji nezávislé. [3]



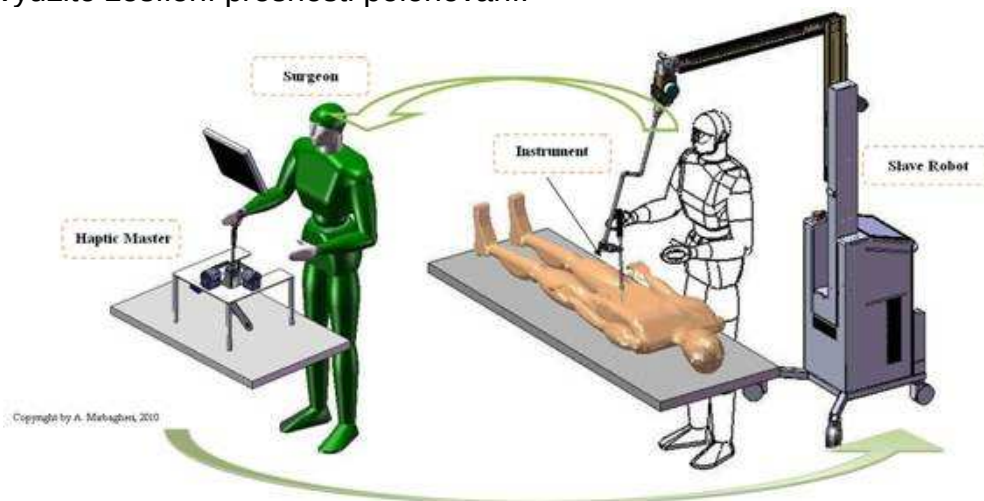
OBR. 7 Bloková schémata řízení jednotlivých druhů univerzálních manipulátorů[1]

3.3.2.1 Synchronní manipulátory

Už samotný název skupiny informuje o základní charakteristice těchto mechanismů. Jádrem řízení uvedených manipulátorů je synchronizace řídicího elementu s výkonovým členem v uzavřené smyčce. U těchto manipulátorů, často označovaných jako „teleoperátory“, zastává řídicí pozici bezprostředně pracovník. Toto uspořádání bývá vyjádřeno názvem „man on-line“. Mechanismus je dále využíván jako zesilovací aparatura vyžadovaných pohybových nebo silových veličin, popřípadě proudů vyvolaných pracovníkem. Aby synchronní manipulátory mohly na výstupních orgánech přesně kopírovat pohyby pracovníka, polohu a orientaci jeho rukou v pracovním prostoru, je třeba, aby řídicí ústrojí bylo přímo upevněno k jeho pažím, rukám a prstům. Tímto způsobem lze docílit přenesení pohybu na řídicí páky. Výkonné ústrojí existuje ve dvou provedeních [3]:

**a) Umístění mimo pracovníka**

- uspořádání pojmenované „master-slave“. Přináší významné využití při podmínkách, kde nemůže člověk existovat, jako je např. radioaktivní prostředí. Tyto manipulátory mají také význam v lékařství při jemných operacích, kde je využito zesílení přesnosti polohování.



OBR. 8 Synchronní manipulátor Master-Slave využívaný v lékařství. [11]

b) Upevnění na tělo pracovníka

- člověk se přímo s tímto zařízením pohybuje a zařízení tento pohyb usnadňuje → exoskeletony. Těchto provedení se využívá v BIOMECHANICE při konstrukci umělých končetin a protéz.



OBR. 9 Exoskeleton (Cyberdyne Robot Suit HAL® „Hybrid Assistive Limb®“) usnadňující pohyb a manipulaci s předměty, např. pro pacienty s následky úrazu [12].

Složitost těchto manipulátorů je dosti značná. Z tohoto důvodu jsou nejvíce využívány v oborech s vyšší citlivostí, jakými jsou laboratoře a výzkumy nebo vesmír (Lunochod) a moře (průzkumy moří a vraků lodí). Své uplatnění nacházejí především v podmínkách, kde nelze vyloučit řídicí funkci obsluhy, avšak pro obsluhu je toto prostředí přesahující její fyzické možnosti. I zde lze využít adaptivního řízení, při němž manipulátor projevuje určitou samostatnost svého chování a člověk řídí jen rámcově. [3]

Do této skupiny manipulátorů jsou zařazena i v průmyslu často využívaná pomocná zvedací zařízení, která usnadňují manipulaci s rozměrnými a těžkými tělesy v provozu (OBR. 10). Zajištění pohybu prostorem provádí pracovník, ovšem manipulátor zajišťuje jeho vyvážení, aby byl pohyb možný. Pro zařízení se ustálilo pojmenování „průmyslové balancery“. [3]



OBR. 10 Ruční manipulátor „Dalmec – MaxiPartner“, sloupové provedení [13]

3.3.2.2 Programovatelné manipulátory

Dle rozdělení na OBR. 4 představují druhou skupinou univerzálních manipulátorů programovatelné manipulátory, které jsou řízeny programovým ústrojím. Vzhledem ke spojení s obsluhovaným strojem jsou svým provedením, funkcí, pohonem a řídicím ústrojím nezávislé. Tato charakteristika podporuje větší flexibilitu při umísťování v průmyslu. Vlastnost přizpůsobení usnadňuje rychlejší

reakce na změny požadavků na trhu, a tak jsou tyto roboty stále více uplatňovány u pružných výrobních linek.

Manipulátory s pevným programem

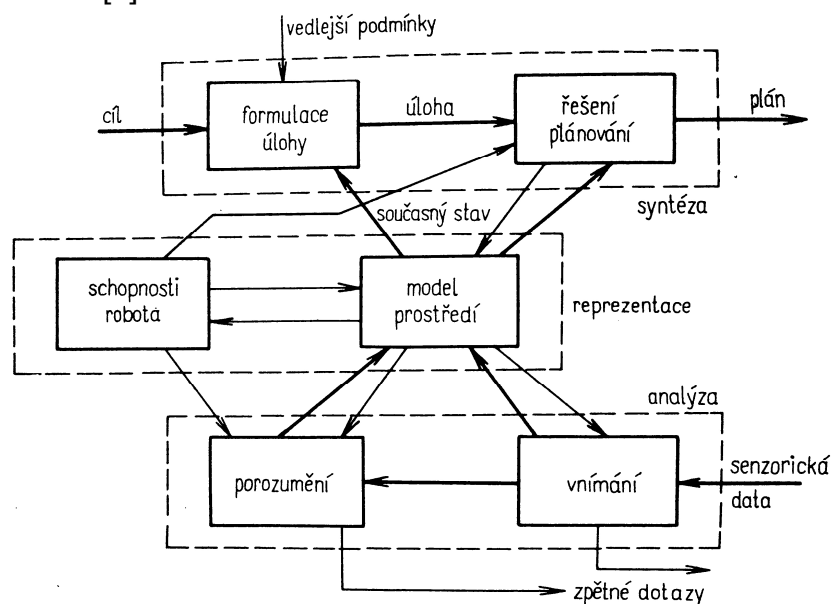
U těchto manipulátorů se program během své činnosti nemění, je stálý. Avšak nastává velmi jednoduchá změna, neboť mechanicko-elektrické řídicí ústrojí je často zkonstruováno tak, že změna jednotlivých funkcí spočívá v přestavení nárazek a v nastavení příslušných logických funkcí na panelu, kolíčkové desce apod. Mnohdy se používá i tzv. programovatelných automatů k zadání řídicích povelů. Tento typ manipulátorů je velmi rozšířen pro svou jednoduchost a spolehlivost. Častokrát se pro něj používá názvu průmyslový robot nižší úrovně, případně průmyslový robot 1. generace. [3]

Manipulátory s proměnlivým programem

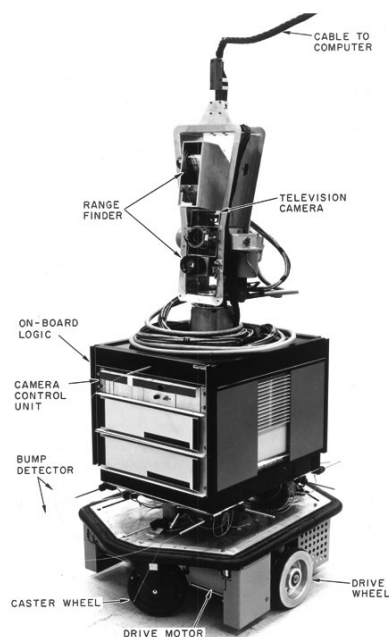
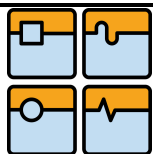
Tyto manipulátory disponují možností přepínání nebo volby programu většinou podle scény, ve které se právě nacházejí. Jsou řízeny adaptivně elektronickými řídicími systémy a projevují značnou samostatnost (adaptivnost, autonomnost) chování. Nazývají se průmyslovými roboty vyšší úrovně, případně průmyslovými roboty 2. generace. [3]

Kognitivní roboty

Jedná se o mechatronické systémy (mechanické systémy s vyšším stupněm integrované elektroniky) s možností vnímání a racionálního rozhodování (bez možnosti volního jednání a citového vnímání – kognitivní proces je proces vnímání, racionálního myšlení a rozpoznávání). Představují současnou špičku ve vývoji manipulačních zařízení. Samozřejmě i zde s možností určitého odstupňování jejich úrovně. Často bývají označovány jako inteligentní roboty, případně průmyslové roboty 3. generace. [3]



OBR. 10 Kognitivní systém robota [7]



OBR. 11 Robot „Shakey“ ze Stanfordského výzkumného ústavu (SRI-Stanford Research Institute) [14]

4. Robotické systémy vyšších generací

Prostředkem zajišťujícím vysoké užité hodnoty výrobků v průmyslově vyspělých zemích je automatizace výroby. Automatizace ve výrobě nezahrnuje pouze zautomatizování pracovního cyklu obráběcího stroje, nýbrž kompletního postupu výroby. K těmto prvkům patří už i prvotní technologická příprava, manipulace s materiálem, kontrola a měření obrobků či strojů, dále operační i mezioperační doprava, výměna nástrojů, nebo i odvedení vzniklého odpadu. Skladbu výrobních prostředků je nutno plánovat jako vyváženou cestu mezi technickými a ekonomickými specifiky.

S rostoucím stupněm automatizace a zvyšování produktivnosti roste požadavek částečně nahradit, případně zcela vyřadit, výrobní subjekt (nejčastěji zastoupený pracovníkem), který představuje omezující faktor při zvyšování kvality. Zmíněné nahrazení se nejčastěji uskutečňuje při procesech, které překračují lidské schopnosti. Těmito schopnostmi jsou myšleny fyzicky nebo psychicky namáhavé práce, práce v náročném, velmi čistém nebo velmi nečistém až nebezpečném prostředí. Zde se objevuje potřeba uplatnění mechanismů, jenž nahradí původní výrobní subjekt novým. V těchto případech nacházejí uplatnění průmyslové roboty, které představují integrovaný kybernetický systém, schématicky znázorněný na OBR.3.

4.1. Adaptivní průmyslové roboty

Proces, při kterém se technický nebo biologický systém přizpůsobuje změnám probíhajícím uvnitř nebo mimo systém, je vyjádřen pojmem adaptace. Adaptivní systém tedy samostatně přizpůsobuje svoje vlastnosti (parametry, strukturu) měnícím se podmínkám činnosti při současném zachování nebo zvyšování kvality řízení, nebo při zdokonalení vlastní činnosti podle získaných „zkušeností“. Adaptivní průmyslové roboty jsou tedy průmyslové roboty s vyšší úrovní řízení, schopné v průběhu své činnosti měnit své chování tak, aby byla splněna požadovaná kvalita jejich činnosti. Změna chování je uskutečněna v závislosti na změně vlastního stavu (vnitřní adaptivita) a pracovního prostředí (vnější adaptivita). Řízení závislé na vlastnostech řízeného objektu, na druhu i charakteru a parametrech prostředí (vnější informace) je řízením adaptivním. Adaptivní roboty jsou děleny na stacionární a lokomoční. [5]

4.1.1. Adaptivita a učení se

Adaptivní systém představuje dynamický systém, který se při vnější adaptivitě vyznačuje dvěma vstupy a jedním výstupem. Obecně je popsán čtveřicí množin:

$$AS = \{\Xi, \Omega, Y, \omega\} \quad (3.1)$$

- AS ... adaptivní systém
- Ξ ... množina projevů prostředí
- Ω ... množina informací o požadovaném chování
- Y ... množina vyjadřující odezvy systému na projevy prostředí
- ω ... množina rozhodovacích pravidel

a ztrátovou funkcí:

$$Q(\xi, \Omega, q^*) = \min_q Q(\xi, \Omega, q) \quad (3.2)$$

Q ... ztrátová funkce
 ξ ... informace o prostředí.

Činnost adaptivního systému je charakterizována volbou dvojic $[\xi, \Omega]$ tak, aby existovala právě jedna hodnota parametru q^* , při které nastává absolutní minimum ztrátové funkce. Rozhodovací pravidlo $\omega = d(\xi, q)$ je funkce, která každému projevu prostředí ξ přiřazuje jedinou odezvu a jeho volba z dané množiny je uskutečněna nastavením vhodné velikosti parametru q . Změna chování systému spočívá ve výběru jiného pravidla, tj. ve změně q . Funkce Q vyjadřuje informační ztrátu adaptivního systému, vzniklou volbou rozhodovacího pravidla s daným parametrem q pro dvojici $[\xi, \Omega]$. K adaptaci dochází pouze tehdy, jsou-li informace o prostředí ξ doprovázeny informací Ω a dále k ní dochází vždy, pokud ztrátová funkce nedosahuje svého minima, tzn. že existuje rozdíl mezi skutečnou a požadovanou odezvou. Adaptivní systém není při své činnosti nikdy optimální, potřebná doba adaptace k nalezení optimální odezvy je vždy nenulová. [5]

Učící se systém je opět systém se dvěma vstupy a jedním výstupem, dále učitelem $\Omega = T(\xi)$ a střední ztrátou $J(q)$ stanovenou nad množinami informací o projevech prostředí a požadovaném chování, kdy:

$$J(q^*) = \min_q J(q) \quad (3.3)$$

pro

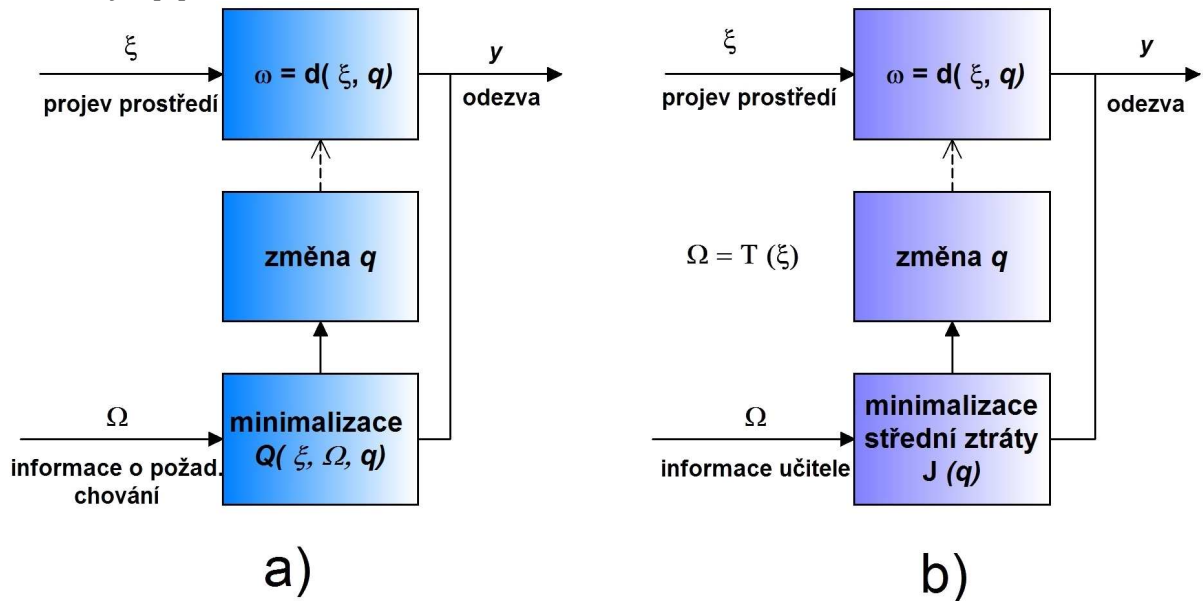
$$J(q) = \int_{X \times \Omega} Q(\xi, \Omega, q) dF(\xi, \Omega) \quad (3.4)$$

$F(\xi, \Omega)$... distribuční funkce pravděpodobnostního rozložení dvojic $[\xi, \Omega]$

Informace o požadovaném chování je zde zavedena učitelem na základě existence příčinného vztahu mezi oběma vstupy. Vztah $\Omega = T(\xi)$ přiřazuje všem projevům téhož prostředí ξ stejnou informaci Ω . Z vyjádření střední ztráty vyplývá, že pro návrh učícího se systému není potřebná úplná apriorní informace o prostředí či řízené soustavě. V reálném pracovním prostředí také nedochází ke změnám v přesně definovaných okamžicích, rozložení okamžiků změn má spíše náhodný charakter, vyjádřený zavedením distribuční funkce. Po naučení, tj. po nalezení parametru X , nemá dále smysl měnit rozhodovací pravidlo. Dále je také zbytečné pro další projevy prostředí zavádět informaci učitele, neboť není nutné zavádět střední ztrátu.

Adaptivní systém při své činnosti stále vyžaduje informaci o požadovaném chování Ω . Pro každou novou dvojici $[\xi, \Omega]$ nastavuje nové rozhodovací pravidlo, bez zřetele na historii systému. Učící se systém naopak využívá zkušenost, kterou v jednotlivých krocích postupně doplňuje a uchovává ji ve své paměti. Pro každou novou dvojici $[\xi, \Omega]$ mění své rozhodovací pravidlo, avšak tak, aby se střední ztráta postupně zmenšovala. Adaptivní systém vyžaduje v každém kroku minimalizaci ztrátové funkce, učící se systém uskutečňuje tuto minimalizaci pouze přibližně. Následně učení spočívá v postupném opakování adaptace a učící se systém je

zvláštním případem adaptivního systému. Na OBR. 12 je srovnání adaptivní a učící se vazby. [5]

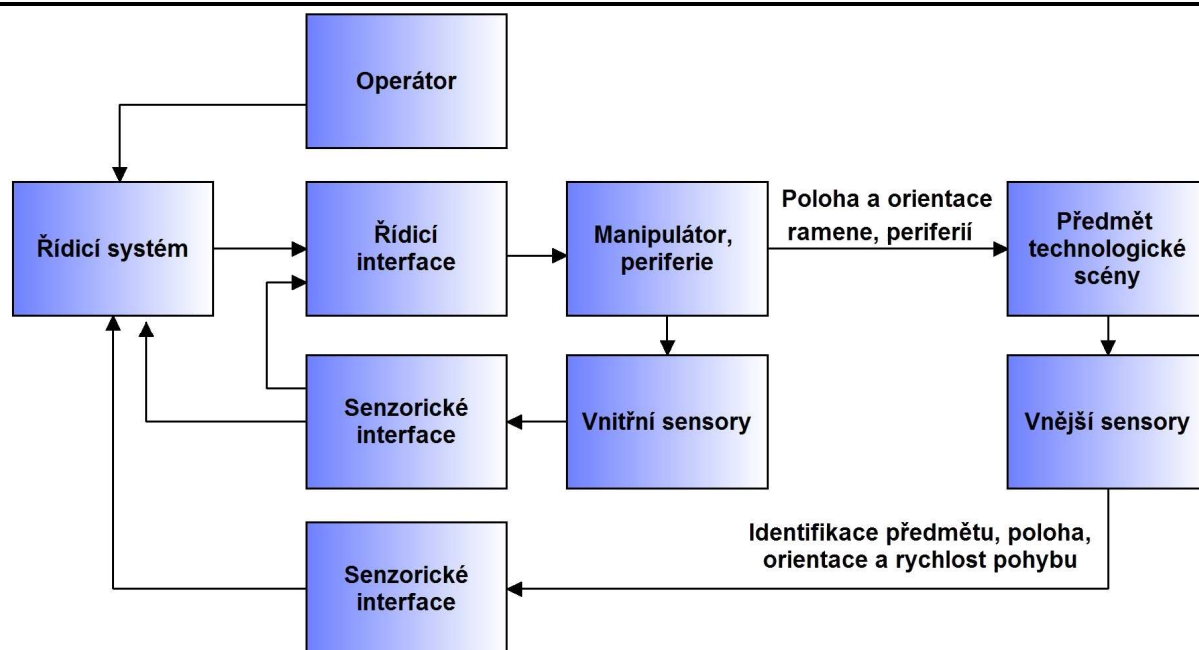
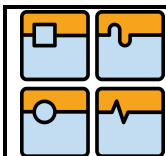


OBR. 12 Struktura: a) adaptivní vazby b) učící vazby [5]

4.1.2. Řídicí systémy

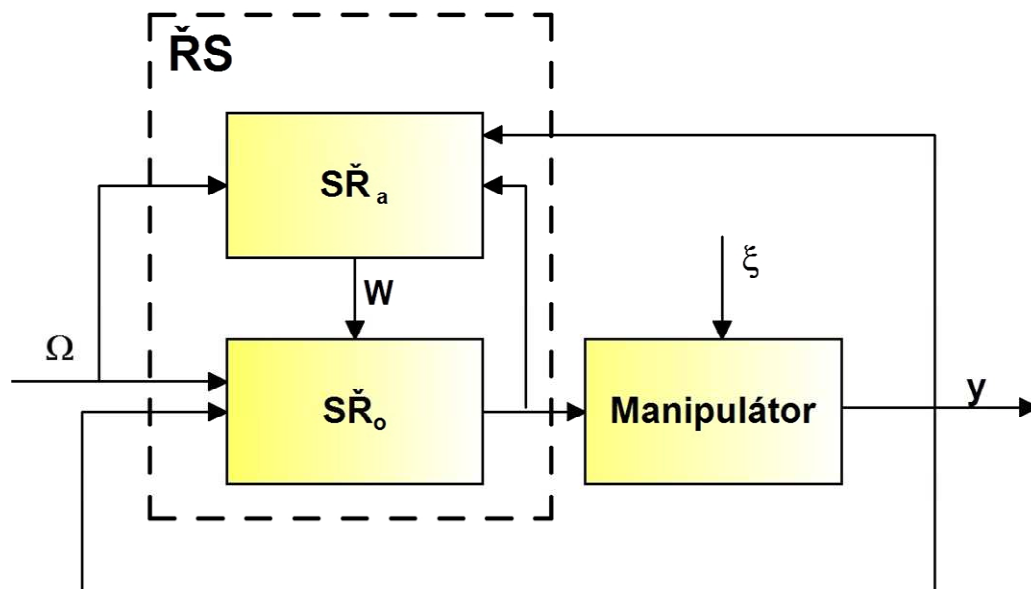
Adaptivní řídicí systémy robotů náleží mezi řídicí počítače a vyznačují se schopností automaticky přizpůsobovat objekty řízení (manipulátor, periferie) k určeným změnám pracovního prostředí a přizpůsobovat se změnám v samotných řízených objektech v procesu jejich činnosti. Schopnost přizpůsobení se zabezpečuje algoritmy adaptivního řízení, které využívají generované informace o stavu pracovního prostředí, řízeného manipulátoru a periferií.

K realizaci adaptivního řízení je potřeba zprostředkovat sběr informací o pracovním prostředí a jeho projevech, nebo také data mapující odezvy systému na pracovní prostředí. Tyto data pro řídicí systém plní senzorický podsystém. Informace charakterizující aktivní pracovní prostředí robota zajišťují vnější senzory, vnitřní senzory zabezpečují diagnostiku robota. Na OBR. 13 je zobrazena struktura vazeb k řídicímu systému v adaptivním řízení. Představitelé vnějších senzorů jsou čidla taktilní, silomomentová, lokační a systémy technického vidění. Vnitřní senzory zastupují čidla polohy, rychlosti, kroutícího momentu a vnitřní diagnostiky.



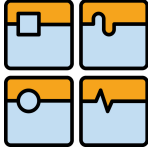
OBR. 13 Struktura adaptivního řízení [5]

Rozdíl adaptivního řídicího systému oproti neadaptivnímu spočívá v hierarchické struktuře. Hierarchická struktura u adaptivního řídicího systému má alespoň dvě úrovně řízení, viz OBR. 14. První úroveň je tvořena základním systémem neadaptivního řízení $S\check{R}_0$ a druhá úroveň představuje systém řízení adaptace $S\check{R}_a$.



OBR. 14 Hierarchická struktura adaptivního řídicího systému [5]

Adaptivním řídicím systémem rozumíme takový systém, který disponuje přídatnými zpětnými vazbami, které ovlivňují průběh činnosti v závislosti na změnách určitých sledovaných veličin. Cílem je dosažení buď zadané mezní hodnoty určitého kritériálního parametru, nebo jeho optimální hodnoty. Dle těchto kritérií se rozlišují [6]:

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- mezním (limitní) adaptivní řízení - ACC , nebo ACL podle literatury [5]
- optimální adaptivní řízení – ACO.

Mezní řízení je zadán průběh charakteristického ukazatele nebo více aplikovaná extrémní mez. Jako příklad užití lze uvést řízení rychlosti pohybu ramene manipulátoru při rozběhu, kdy je kritériem maximální přípustné zatížení. Proti tomu optimalizační adaptivní řízení je mnohem složitější při realizaci. Důvodem je potřeba stálého vyhodnocování několika parametrů s ohledem na splnění zadaného kritéria optimality.

4.2. Roboty s prvky umělé inteligence

Tyto roboty řadíme do nejvyšší generace vývoje, ne však díky jejich technickým parametrům, nýbrž na základě jejich vyšších schopností, které je možno více či méně porovnávat s inteligentními projevy člověka.

Roboty s prvky umělé inteligence, zařazované do výroby, nemají nahradit roboty první a druhé generace, ale doplnit je ve směrech, kde je jejich užití technicky výhodné, ekonomicky a sociálně oprávněné. Základními směry jejich užití jsou automatická montáž, kontrola a řízení kvality výrobků, jejich identifikace, třídění a značení, řešení neočekávaných situací aj.[5] .

Umělá inteligence v robotice je v dalším výkladu chápána jako algoritmické a programové zabezpečení činnosti robotických systémů, umožňující automatizaci inteligentních technologických procesů. Umělá inteligence se tak stává souborem počítačového softwaru pro řešení nedeterministických úloh jako jsou: porozumění přirozenému jazyku, porozumění obrazové informaci, získání a reprezentace znalostí, heuristické hledání znalostí, deduktivní myšlení a plánování činnosti. Umělá inteligence v robotice je tedy částí vědy o počítačích orientovaná na vytváření inteligentních akcí, akcí rozhodování s cílovou orientací založených na symbolické reprezentaci, analýze a zdůvodnění.

K inteligentním robotickým systémům opět patří senzorický a rozhodovací subsystém. Za účelem uskutečnění cílové činnosti zpracovává informace o pracovním prostředí získané těmito subsystémy. Pomocí užití modelu prostředí dojde k porozumění prostředí. Akce následně pokračuje automatickou tvorbou a realizací plánu činností.

5. Struktury konstrukcí průmyslových manipulátorů

Se zvyšující se frekvencí uplatňování robotů v průmyslu nebo také v jiných oblastech výroby vzniklo bohaté spektrum konstrukcí průmyslových robotů a manipulátorů. Rozdílnost těchto mechanismů určují především hlavní parametry požadované pro dané charakteristiky místa uplatnění. Tato kritéria jsou tedy obecně užita i k jejich přehlednému třídění a sdružování do skupin založených na technické shodnosti. TAB. 15 představuje základní charakteristiky průmyslových robotů.

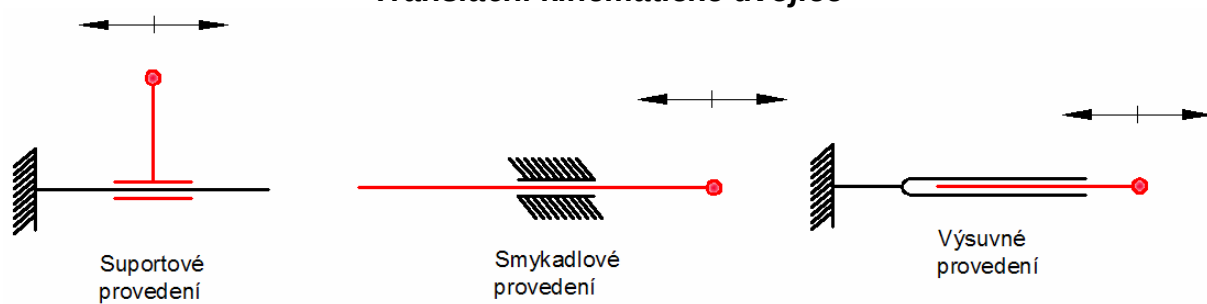
TAB. 15 Charakteristiky dělení průmyslových robotů

- morfologie (architektura, stavba) robotu
- počet stupňů volnosti
- vlastní velikost a hmotnost
- velikost obsluhovaného prostoru
- dosahovaná přesnost
- hmotnost břemene
- rychlost pohybů
- způsob pohonu
- druh servopohonů
- způsob řízení a komunikace s okolím
- způsob a rozsah vnímání
- autonomnost robotu
- způsob odměřování

5.1. Sériová struktura řazení kinematických dvojic

Jedním z nejčastěji užívaných měřítek uplatnění průmyslových robotů a manipulátorů je koncepce akčního systému. Tento systém odpovídá ve své podstatě pohybovému mechanismu. Pro skladbu systému se používá více binárních členů, které jsou mezi sebou vázány prostřednictvím kinematických dvojic. Dané kinematické dvojice pro stavbu průmyslových robotů a manipulátorů užívají většinou jeden stupeň volnosti z důvodu snazšího uskutečnění pohonů. V převážné míře je užíváno kinematických dvojic translačních a rotačních. Jejich běžnou aplikací v konstrukci průmyslových robotů vznikne složení **mechanismu se sériovou kinematikou**. To je dáno právě umístěním těchto dvojic, které se posouvají či otáčejí nezávisle na sobě. Výsledný pohyb je složen součtem těchto pohybů v jednotlivých dvojicích.

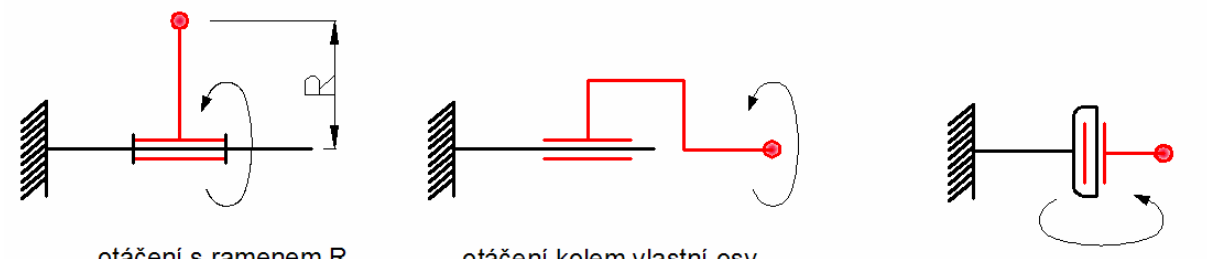
Translační kinematické dvojice



Suportové provedení Smykadlové provedení Výsuvné provedení

Rotační kinematické dvojice

- bez omezení úhlu otáčení - s omezením úhlu otáčení



otáčení s ramenem R otáčení kolem vlastní osy

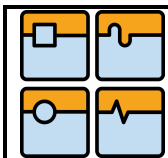
OBR. 16 Kinematické dvojice translační a rotační

Při spojování členů kinematickými dvojicemi vznikne kinematický řetězec. Ten může být libovolný, ovšem jeho manipulační schopnost bude v přímé úměrnosti s počtem použitých kinematických dvojic. Pro zabezpečení obecné polohy a orientace předmětu v prostoru je zapotřebí 6 stupňů volnosti (3 představují polohování a 3 orientaci). U akčních systémů v průmyslových robotech a manipulátorech musí být z konstrukčního hlediska brány v úvahu rozdílnosti charakteru kinematických dvojic v závislosti na umístění v kinematickém řetězci. Důvodem je zajištění odpovídající robustnosti nebo také tuhosti pro volené umístění. Dvojice blíže k základně by měla dosahovat větších nosností než členy řazené dále v řetězci.

Akční systém průmyslových robotů a manipulátorů je možno konstrukčně rozdělit [2]:

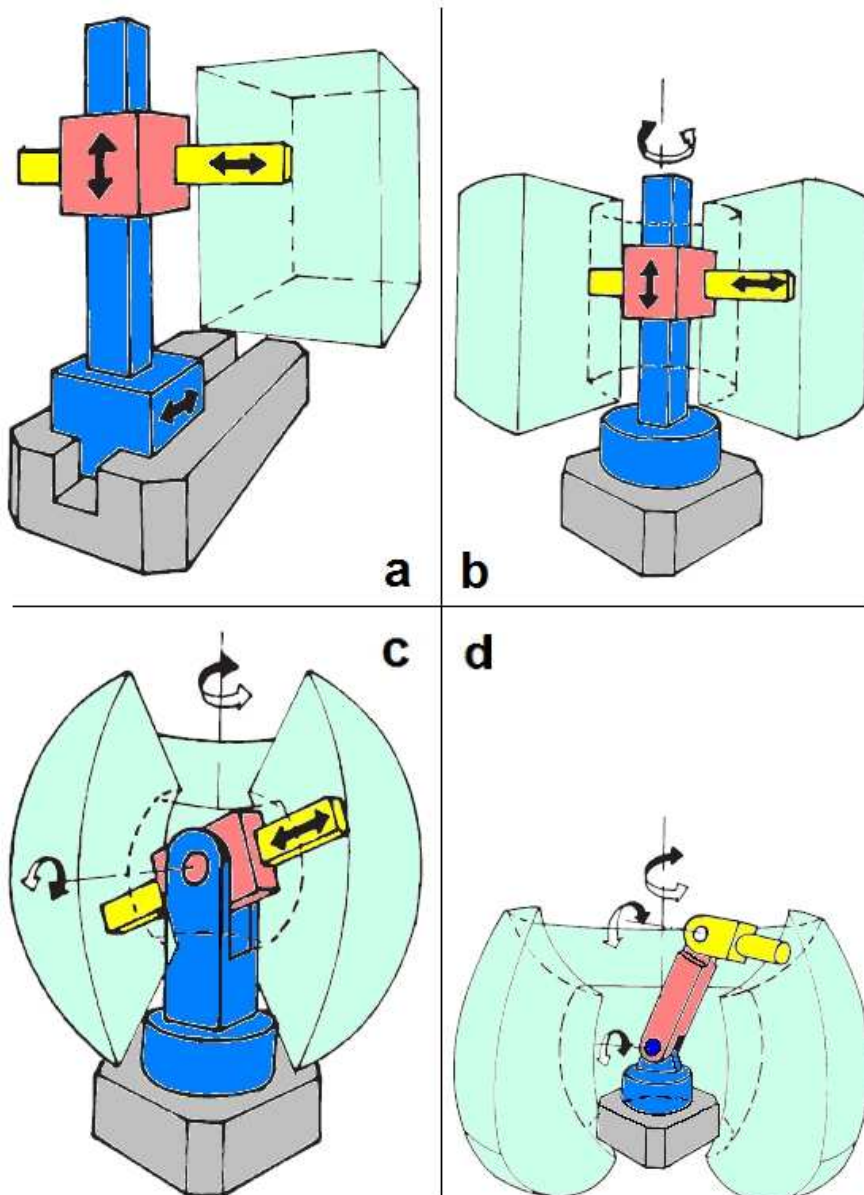
- pojezdové (lokomoční) ústrojí
- polohovací ústrojí
- orientační ústrojí
- výstupní hlavice (koncové efekторы)

Z pohledu morfologické stránky, vzhledu a stavby jednotlivých typů průmyslových robotů má právě polohovací ústrojí největší vliv. Jelikož se za primární problém považuje polohování tělesa v prostoru, je kinematický řetězec manipulátoru odlehčen o orientační zařízení. Tímto zúžením vznikne ke sledování a vývoji morfologie základní kinematický řetězec. V některých případech se zahrnuje do základního kinematického řetězce i pojezdové ústrojí.



DIPLOMOVÁ PRÁCE

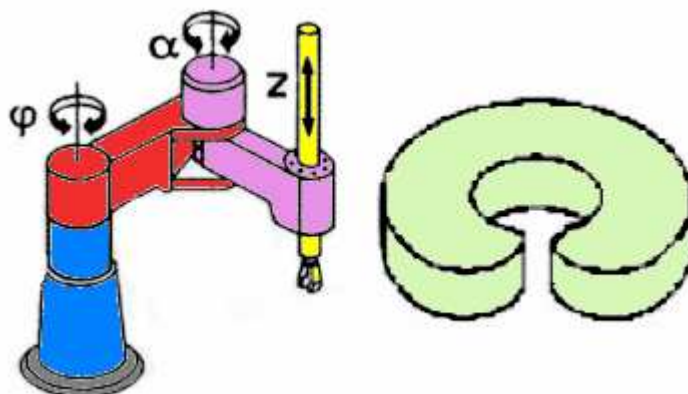
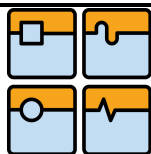
V praxi se na počátku rozvoje robotiky nejvíce rozšířily čtyři základní typy spojení tří kinematických dvojic a k nim zobrazený akční prostor - OBR.17.



OBR. 17 Schéma znázornění základních pracovních prostorů [2]

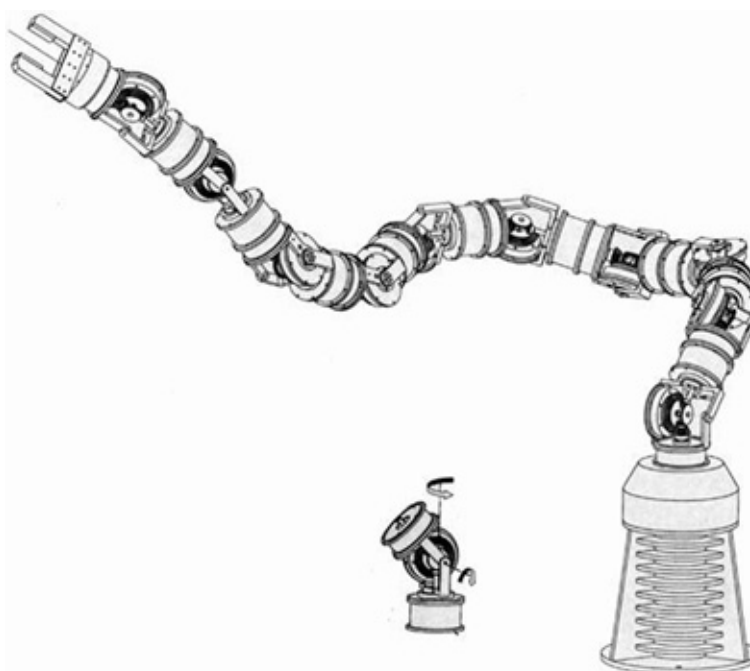
- a) Kartézský (pravoúhlý) – kinematické dvojice TTT
- b) Cylindrický (válcový) – kinematické dvojice RTT
- c) Sférický (kulový) – kinematické dvojice RRT
- d) Multiúhlový (torusový) – kinematické dvojice RRR

Z další praxe a sledováním rozvoje robotů se ukázalo, že se vyskytují i roboty o jiné struktuře spojení kinematických dvojic, než které odpovídají základním pracovním prostorům. [2] Jako příklad můžeme uvést průmyslový robot SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm).



OBR.18 Konstrukce robotu SCARA– spojení kinematických dvojic RRT [15]

Ovšem v reálných případech není vždy možné užitím těchto hlavních struktur zastat celý tento pracovní prostor. Jednou z komplikací může být omezení natočení rotačních vazeb. Dále se reálný prostor nachází v prostředí, které je omezováno ostatními tělesy strojů a zařízeními uplatněnými na pracovním stanovišti. Dalším nezanedbatelným místem pro uplatnění robotů je i prozkoumávání prostorů z důvodů nebezpečného charakteru těchto míst pro člověka. Důsledkem nasazování robotů v místech s omezeným prostorem je aplikování robotů i s více stupni volnosti než je 6° potřebných pro polohování a orientaci. Tento stav nadbytečných stupňů při modelování kinematických mechanismů, určených k manipulaci s tělesy, se nazývá „redundance“. Tyto systémy mohou být založené na úkazech vyskytujících se v přírodě. Manipulační technika našla zdroj inspirací také v oborech Bioniky. Pro manipulátory to jsou vlastnosti flexibility, příkladem je pohybová struktura kostry hada nebo článků chobotu slona. Tyto konstrukce dosahují vysokých počtů redundantních stupňů volnosti a jsou často pojmenovány jako hyperredundantní manipulátory OBR. 19.

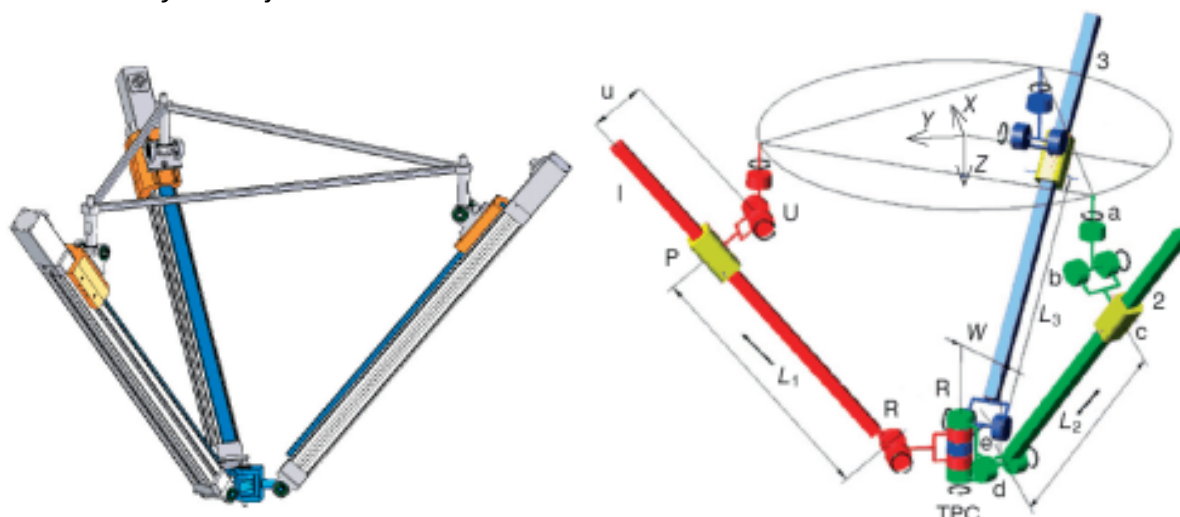


OBR. 19 – Hyperredundantní manipulátory [16]

Jejich uplatnění je výhodné v inspekčních úlohách, jako jsou průzkumy nedostupných prostor nebo vyhledávání bomb.

5.2. Paralelní struktura řazení kinematických dvojic

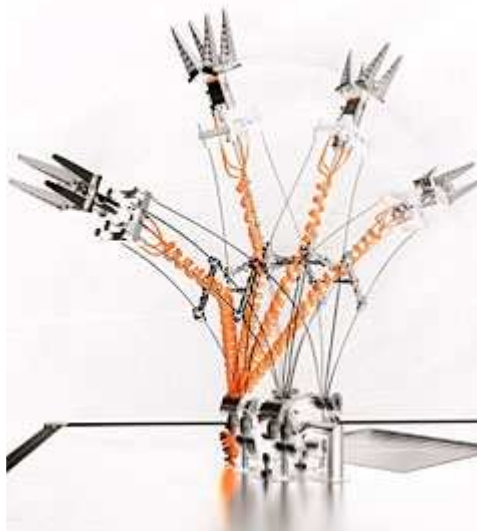
V předchozím výkladu zřetelně převažovalo aplikování kinematických dvojic s jedním stupněm volnosti. Důvodem bylo jednodušší reálné použití. Toto omezení je však s technickou vyspělostí snadnější překonat, a výsledkem je motivace aplikování a vývoje složitějších skladeb kinematiky manipulačních aparátů. Vznikají tak zajímavé struktury strojů s charakteristickými pohybovými prvky. Jedním z těchto vývojových směrů je aplikace mechanismu **s paralelní kinematikou** v manipulátorech, robotech a také ve výrobních strojích. V určité době s sebou koncepce nesla i významný negativní znak – strukturu velmi náročnou na řízení. A proto až v době, kdy začaly klesat ceny výkonných počítačů, mohly firmy začít produkovat tyto stroje.



OBR. 20 Paralelní manipulátor: a) Reálný model b) Kinematický model [17]

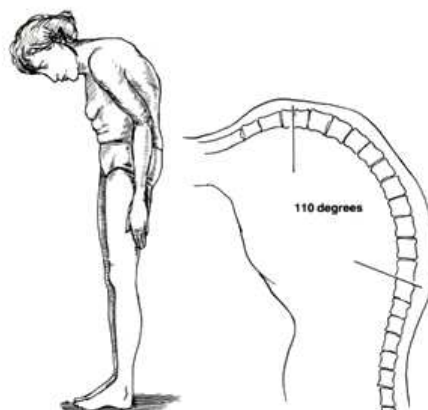
6. Stavba manipulátoru

Prvním krokem při konstrukci manipulátoru je zvolení samotné struktury stroje. Pro aplikace v komplikovaných prostorech se zdají být vhodnější sériové konfigurace. Výhodou jsou zde zejména rozměrové parametry, jednodušší řízení a také možnost manévrovat pružněji celým mechanismem při vyhýbání se překážkám. Příklad článkového robota s paralelní kinematikou je vyobrazen na OBR. 21.



OBR. 21 Příklady článkových robotů a paralelní kinematikou [117]

Článkové roboty, z důvodů uvedených výše, se hojně vyskytují v sériových složeních. Právě řazení těchto článků za sebe do delších řetězců dává možnost pojmenovat tyto koncepce jako řetězové. Příkladem může být robot vyobrazený na OBR. 19, kde je do řetězce zapojeno 11 samostatných článků. A jelikož se článkové roboty skládají převážně z řetězců o velkých počtech článků, splňují podmínky hyperredundance. Jak jsem již uvedl v předchozí kapitole, podstatný význam v mnoha případech vývoje nových technologií hraje příroda, jakožto nevyčerpatelný zdroj poznatků a inspirace. V našem případě jsou to roboty napodobující pohybové vlastnosti živočichů nebo některých jejich částí. Předlohou pro článkové roboty se v manipulační technice staly pohyby chobotu slona nebo chapadel hlavonožců. Nejčastějším úkazem uvedených pohyblivých aparátů je kosterní skelet páteře a nejzjevnějším případem je právě páteř hada. Proto jsou tyto manipulátory a roboty pojmenovávány hovorově jako „hadí paže“ (z angličtiny Snake-Arm Robots). Pro manipulátory inspirované danou stavbou je charakteristická snaha zachovávat plynulé zakřivení celé své konstrukce. U manipulátorů imitujících charakter pohybu sloního chobotu je snahou využít flexibility nejen pro pohyb mechanismu, ale také přímo pro uchopení a manipulaci s předměty.



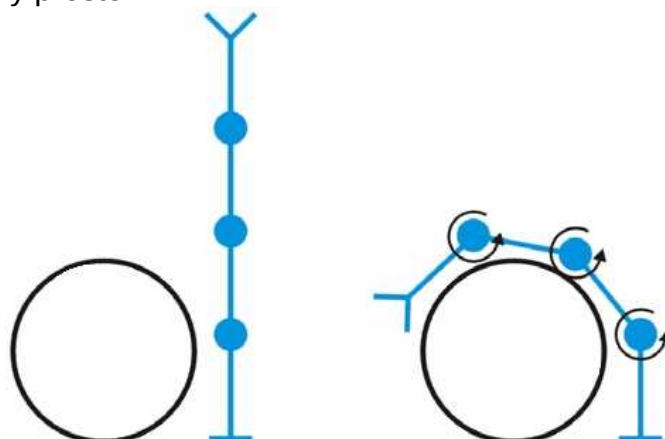
OBR. 22 Struktura páteře člověka[22]

6.1. Sestavení řetězce

Akční člen manipulátoru tvoří řetězec hlavních článků konstrukce. Ve známých konstrukcích článkových robotů jsou nejčastěji aplikovány dva druhy řetězců:

- a) se skokovým zakřivením
- b) se spojitým zakřivením.

Příznačným zástupcem prvního případu je takový typ řetězce, v němž se spojení provede pouze kinematickou dvojicí. Jelikož článek představuje tuhé těleso, má potom charakter křivosti řetězce diskretní tvar. Míra velikosti skoku je přímo úměrná rozměru článků. Mechanismus, jenž bude složen z rozměrově menších dílů, bude lépe interpolovat křivost řetězce k optimálnímu zakřivení. Vzorové konstrukce takovýchto řetězců představují článkové roboty s rotačními nebo se sférickými vazbami. Na OBR. 23 je možno vidět skokové zakřivení článku manipulátoru, jenž obklopuje vyčleněný prostor.

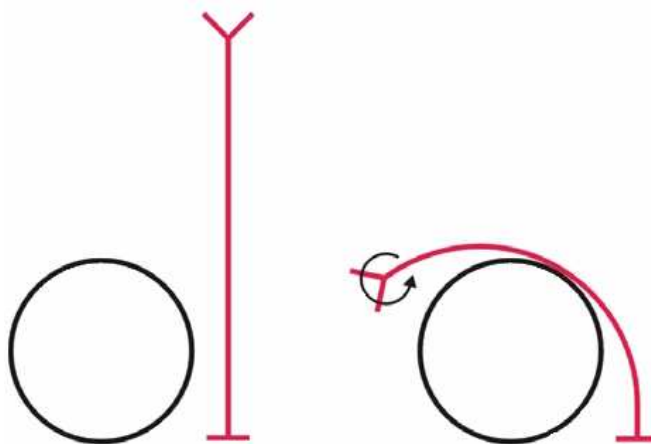


OBR. 23 Ukázka ramene manipulátoru s řetězcem se skokovou změnou zakřivení ve vazbách kinematických dvojic v rovinném provedení



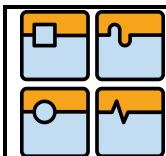
OBR. 24 Příklad článkového robotu s diskrétní změnou zakřivení – OC Robotics [118]

V řetězci se spojitým zakřivením se na rozdíl od předchozího druhu, kdy jsou užity prvky tuhých těles, aplikují elementy s vysokou flexibilitou zobrazené na OBR. 25. K získání této vlastnosti je potřeba využití vhodných materiálů pro konstrukci. Materiál by se měl vyznačovat výraznými elastickými deformacemi v potřebném směru namáhání. Příkladem může být velká odolnost na tahové namáhání, avšak velká poddajnost při namáhání ohybem. Pro vhodné elastické vlastnosti jsou často využívány pryžové nebo plastové prvky. Podpoření elastického chování členů může plynout i z konstrukce aplikovaného členu. Toho lze dosáhnout snížením robustnosti takových prvků, které se vyznačují již zmíněnou vysokou pevností v tahu, ale jsou poddajné při ohybovém namáhání (například užití tvaru tenkých prutů).



OBR. 25 zobrazení ramene manipulátoru s řetězcem se spojitou změnou zakřivení

S těmito skladbami manipulátorů mají výborné výsledky ve společnosti FESTO. Tato společnost, zabývající se oborem průmyslové automatizace ve spojení s renomovanými univerzitami, ústavy či společnostmi vede projekt Bionic Learning Network. Cílem projektu je ještě více zefektivnit automatizované pohyby a tím ušetřit energii. Některé aplikace inovačních konstrukcí manipulačních zařízení z tohoto projektu jsou zobrazeny na obrázku OBR. 25 a OBR. 26.



OBR. 26 Inovační konstrukce manipulátorů „Pneumatic lightweight structures“ z dílny Bionic Learning Network firmy FESTO. [18]



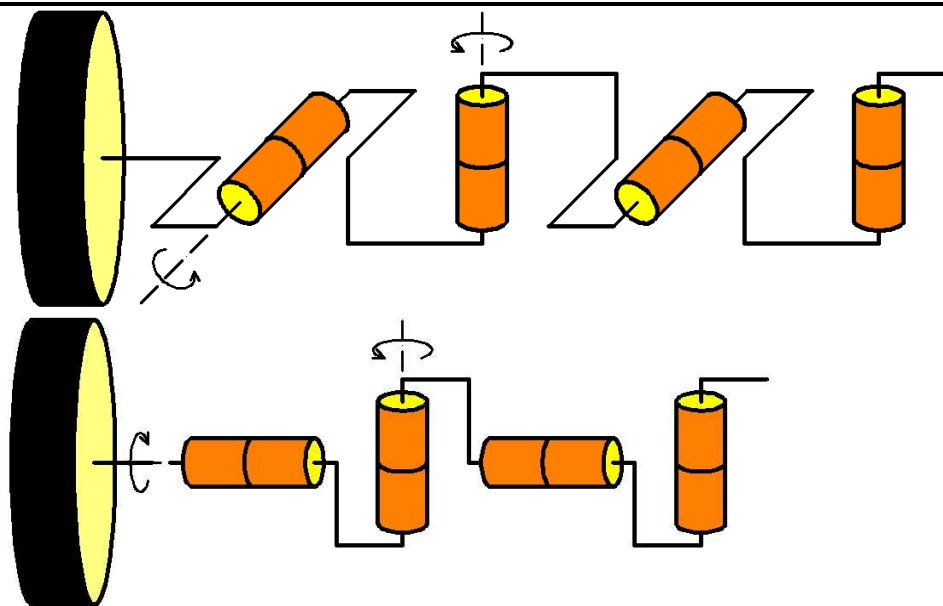
OBR. 27 Inovační konstrukce manipulátorů „Bionic Handling Assistant“ z dílny Bionic Learning Network firmy FESTO. [19]

Pro konstrukci článkového robota, volíme řetězec s diskrétní změnou zakřivení.

6.2. Kinematická dvojice

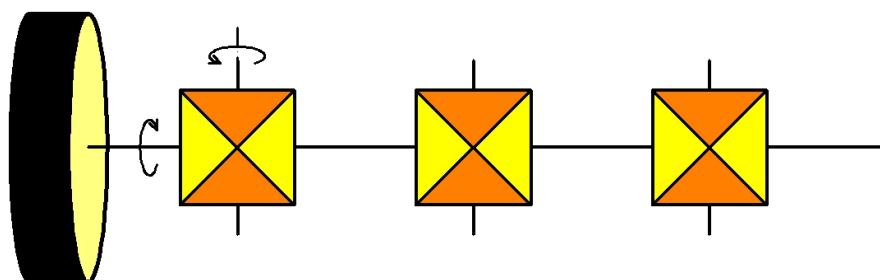
Mechanismus robota je založen na vzájemném spojení hlavních článků do jedné osy. Toto spojení zajišťují kinematické dvojice. Právě ony a hlavně jejich počet stupňů volnosti mají vliv na charakter pohybu. Dále si tedy blíže popíšeme možné řešení skladby kinematických dvojic v řetězci.

U článkových robotů se nejčastěji užívají vazby rotační. Kinematická vazba dovozuje pouze jeden stupeň volnosti. Pro sestavení řetězce je jich třeba více za sebou, aby bylo možno dosáhnout optimálního charakteru zakřivení. Na OBR. 28 jsou zobrazeny možnosti kinematické struktury článků v jedné ose.



OBR. 28 – Možné kinematické struktury článků v jedné ose z rotačních vazeb

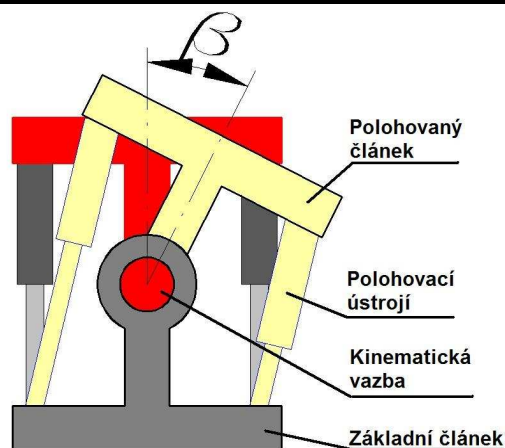
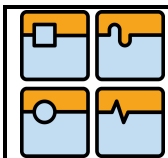
Vhodnou konstrukcí lze zhotovit univerzální (křížový) kloub. Zde jsou dvě rotační vazby umístěny do sebe se vzájemným natočením os o 90 stupňů. Tím zajistíme jedním prvkem pohyb následujícího členu prostoru.



OBR. 29 Kinematická struktura článků v jedné ose z křížových kloubů

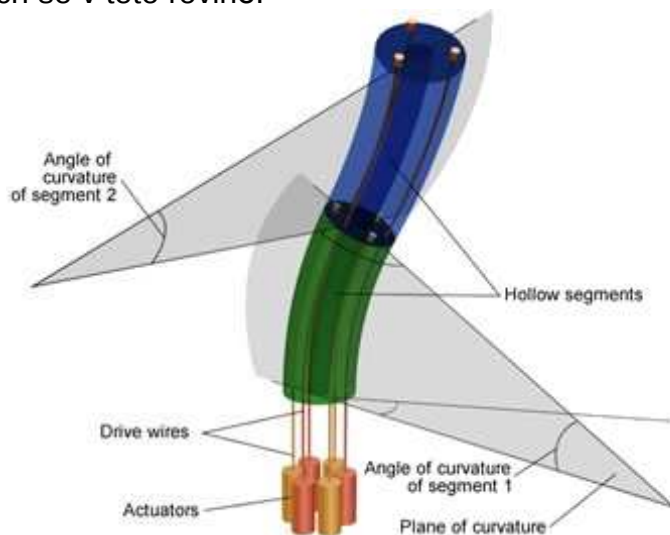
6.3. Princip orientování

Pohyb článků je prováděn ve vazbách, které je spojují. OBR 30 zobrazuje změnu pozice v rotační vazbě v rovinném provedení. K vychýlení dojde změnou délek dvou polohových členů. Při nastavení shodných délek zaujmou články přímý směr. Naopak přestavením rozdílných délek polohovacích ústrojí dojde k vychýlení o znázorněný úhel β . Spojnice koncových bodů polohovacích ústrojí musí ležet na přímce, která je normálovou přímkou k ose vychýlení jdoucí ze středu rotace.



OBR. 30 Změna polohy rotační vazby od rovnovážné polohy

OBR. 31 vyobrazuje situaci nastavování polohy v prostoru. Nastavení polohy článku možno docílit přesným orientováním některé z jeho přesně definovaných rovin. Jednou z možností, jak určit rovinu v prostoru, je stanovení tří nekolineárních bodů nacházejících se v této rovině.



OBR. 31 Natočení článků [20]

6.4. Způsoby pohonu

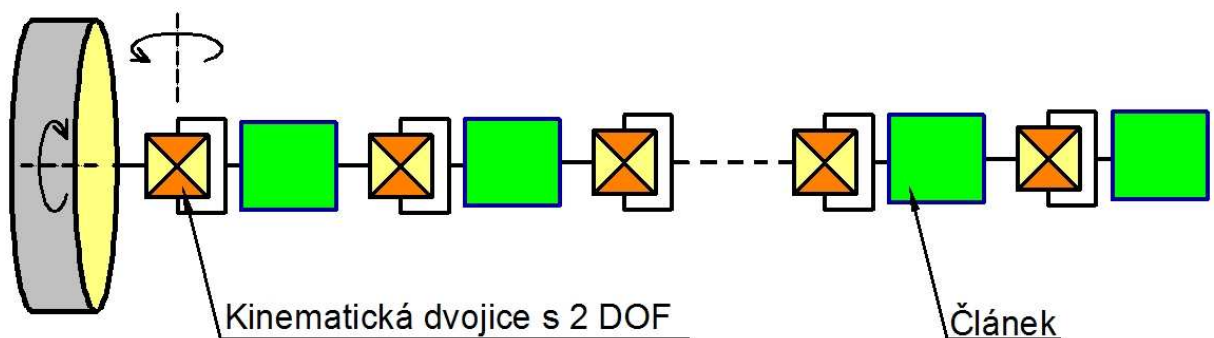
K natáčecímu pohybu lze využít více druhů pohonů. Aplikována může být elektrická energie v podobě rotačních elektrických motorů, dále v podobě pneumatických mechanismů přímých i rotačních a stejně tak v provedení hydraulických mechanismů. U velmi specifických manipulátorů nacházejí své uplatnění i materiály s tvarovou pamětí.

Aplikaci pohonů do vazeb lze provést přímo nebo zprostředkovaně přes další elementy. Těmito elementy se myslí například lana, pružiny, táhla nebo převodové mechanismy. Důvodem užití uvedených součástí v článkových robotech je odlehčování akčního řetězce, protože jakékoli nadbytečné silové zatížení působící na pohybové rameno v nezatíženém stavu vede ke snížení efektivity manipulace. K těmto silám rozhodně patří efekt gravitace země na díly umístěné v řetězci.

7. Návrh konstrukce člankového robotu

7.1 Návrh akčního řetězce člankového robotu

Pro návrh člankového robotu byla zvolena kinematická struktura se skokovou změnou zakřivení. Z důvodů získání větší flexibility je pro spojení článků volena univerzální vazba (křížový kloub). Minimální dosahová délka manipulačního ramene je 1m. Řetězec se skládá z 12 článků. Základní podoba kinematického modelu člankového robota je vyobrazena na OBR 33.



OBR. 33 Základní struktura

Pokud by bylo použito rotačních pohonů přímo na osy natočení, rovnal by se počet pohonů počtu celkových stupňů rovnosti. Výsledný počet se bude rovnat součtu všech stupňů volnosti od vazeb v akčním řetězci. Pro křížový kloub platí :

počet stupňů volnosti

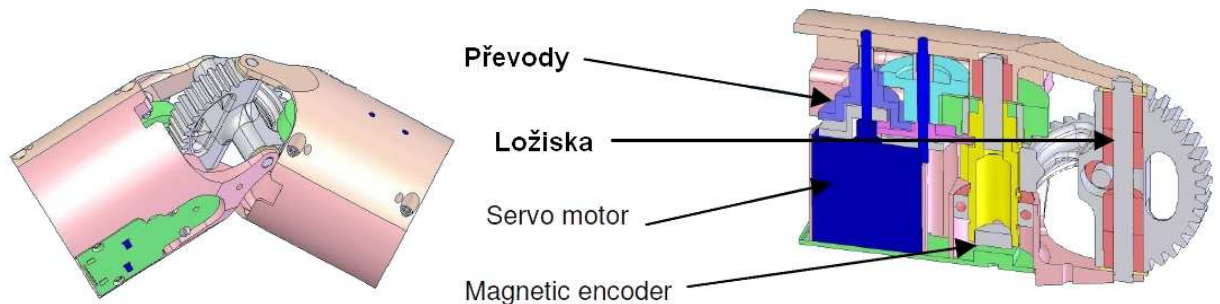
$$i_{kloub} = 2.$$

Celkový počet stupňů volnosti

$$i_{celkové} = \sum_{n=1}^{12} i_{n-kloub} = 12 \cdot 2$$

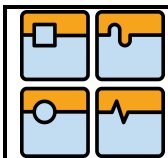
$$i_{celkové} = 24$$

Pro vyobrazený kinematický model, který má 24 stupňů volnosti, by bylo třeba 24 pohonů. Tyto pohony by musely být umístěny přímo v rameni robota uvnitř článků. Možná konstrukce je uvedena na OBR. 34.



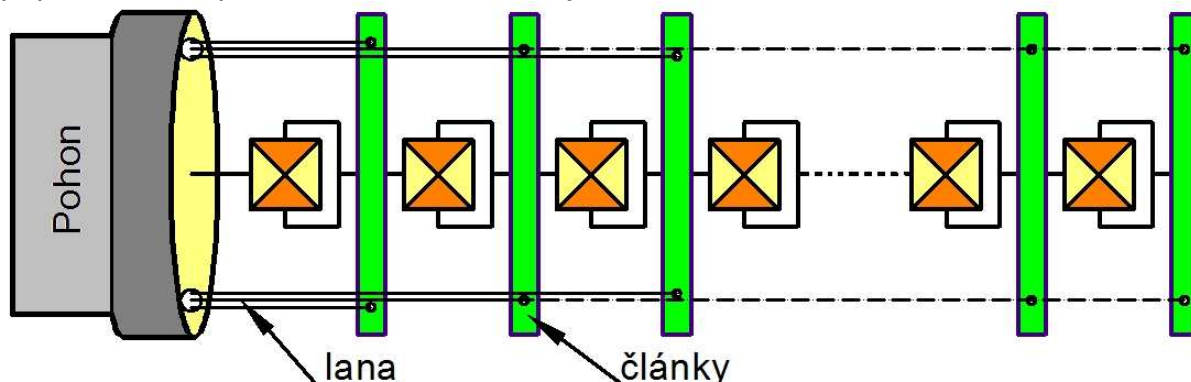
OBR. 34 Ukázka zabudování pohonu uvnitř článku [21]

Skutečnost, že by byl pohon umístěn v nitru článku, vede k úbytku nosnosti robota o tíhové síly působící na tyto díly. Pro návrh tedy využijeme zprostředkovaného přenosu sil na ovládané články. K záměru přenesení hmot pohonových zařízení



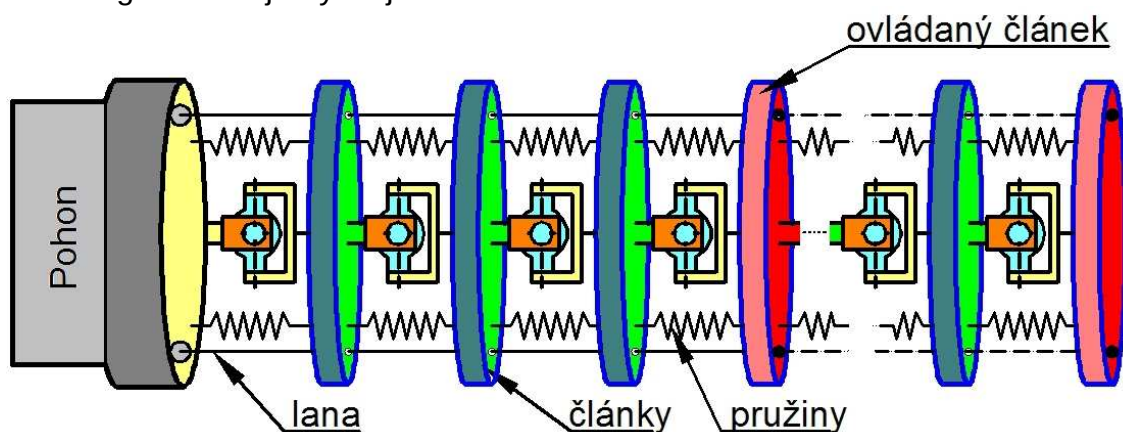
DIPLOMOVÁ PRÁCE

mimo stavbu chapadla použijeme lana. Tyto lana povedou skrze články a na principu popsaném v kapitole 6.3 budou ovládány. OBR. 35



OBR. 35 Kinematické schéma přenesení pohonu do základu stroje

Negativní stránkou provedené změny je zvýšení počtu poháněných prvků. To plyne z nutnosti užití nejméně tří lan pro nastavení orientace jednoho článku v prostoru. V takovém případě by bylo třeba 12krát po třech pohonech, tedy 36 hnacích ústrojí. Takto vysoký počet řízených zařízení by byl z hlediska realizace velmi složitý a systémově příliš náročný. Z těchto důvodů je třeba kinematický model doplnit o prvky, které by nám tyto pohony mohly nahradit. Jednou z možností je vložení pružin mezi články (OBR. 36). Pružiny by fungovaly jako vymežovací element mezi články. Tím by došlo k rozdělení ramene na segmenty po čtyřech člancích. Ovládaným prvkem by byl pouze poslední díl v segmentu. Tím, že by ostatní články byly uzavřeny mezi základnou a ovládaným dílem, došlo by důsledkem působení pružin k přeskupení součástí do stavu s nejmenší energetickou hladinou. Pružiny by tedy v tomto segmentu zajistily stejnou orientaci ve vazbách.



OBR. 36 Kinematické schéma s kompenzací pohonů pružinami

Výsledek této změny se projeví poklesem počtu řízených prvků. Jelikož ovládáme jen tři elementy v celé zástavbě, je počet pohonů snížen z 36 na 9. Díky tomu je úloha s ohledem na řízení snadněji realizovatelná.

7.2 Realizace konstrukce článkového robota

Při konstrukci byly brány v úvahu následující podmínky: lehká a jednoduchá konstrukce, uplatnění dostupných materiálů a rychle demontovatelná struktura. Stavba by měla být připravena k zapojení dalších periférií. Mechanismus je rozdělen do dvou hlavních obvodů. První představuje manipulační část – chapadlo. Druhý oddíl stroje zastupuje ovládací mechanismus. Ke zpracování 3D modelu robota byla využita aplikace SolidWorks 2010. Všechny modely včetně kompletní výkresové dokumentace jsou uloženy v příloze č. 1 této diplomové práce.

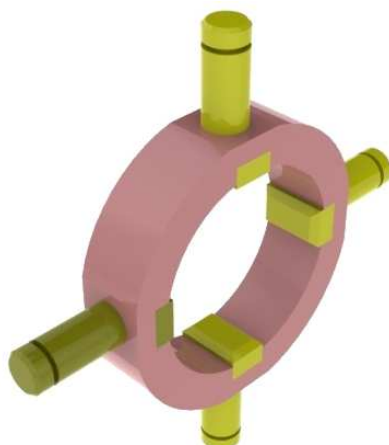
7.2.1 Chapadlo

Hlavním prvkem sestavy je 12 článků propojených křížovým kloubem. Toto spojení zajišťuje prostorový pohyb. K vzájemnému pohybu kloubu a článku dochází v kluzném pouzdře. Pro zajištění axiálního pohybu je čep v pouzdru zajištěn pojistným třmenovým kroužkem. Pro zajištění vedení médií, jako jsou elektrická energie nebo stlačený vzduch, k dalším perifériím tvoří jádro článku dutina.



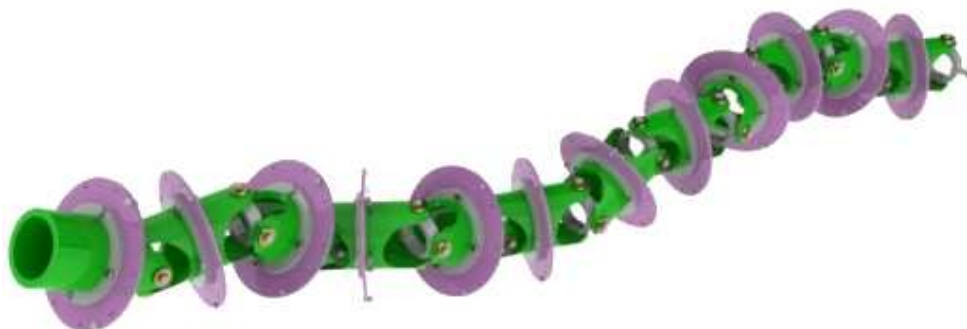
OBR. 37 – Spojení dvou článků křížovým kloubem

Článek chapadla je z důvodu úspory hmotnosti zhotoven z PVC, na OBR. 37 odlišen zelenou barvou. K němu je připojen hliníkový disk (barva fialová) pro vedení pohybových lan. Křížový kloub tvoří čtyři čepy spojené kroužkem s otvory. Detail provedení vyobrazuje OBR. 38.



OBR. 38 – Složení křížového kloubu

Toto spojení článků se opakuje ve všech vazbách 12krát. Konstrukce má hadicové provedení, které vystihuje OBR. 39.

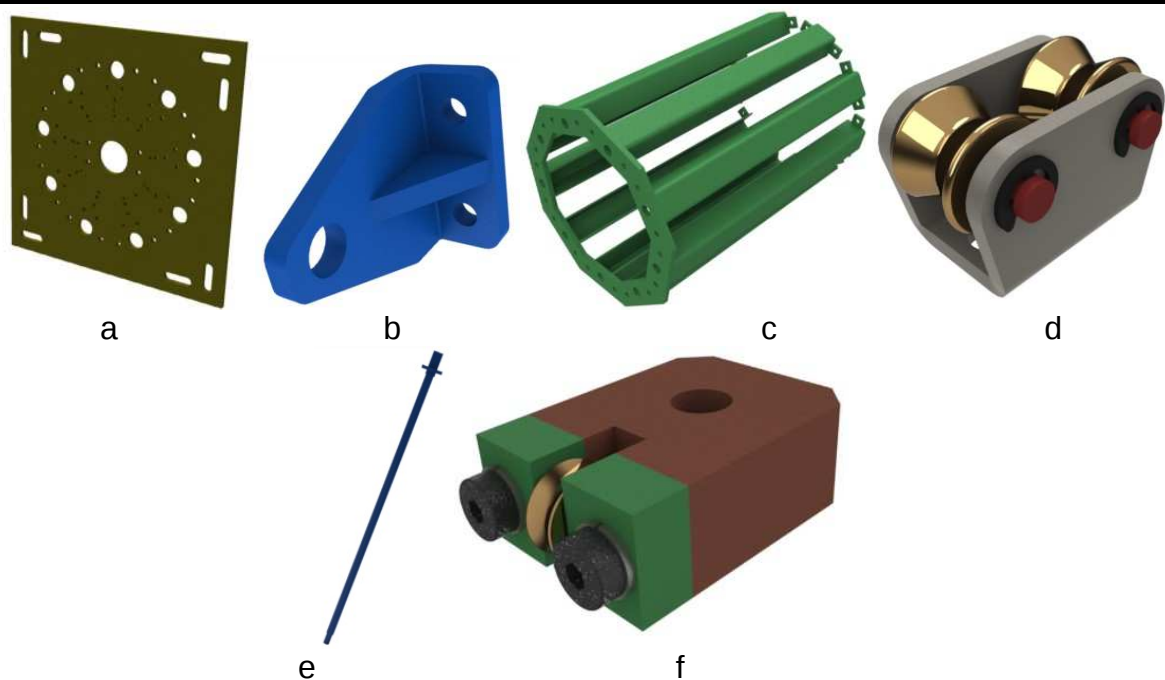


OBR. 39 Sestava chapadla

7.2.2 Ovládací mechanismus

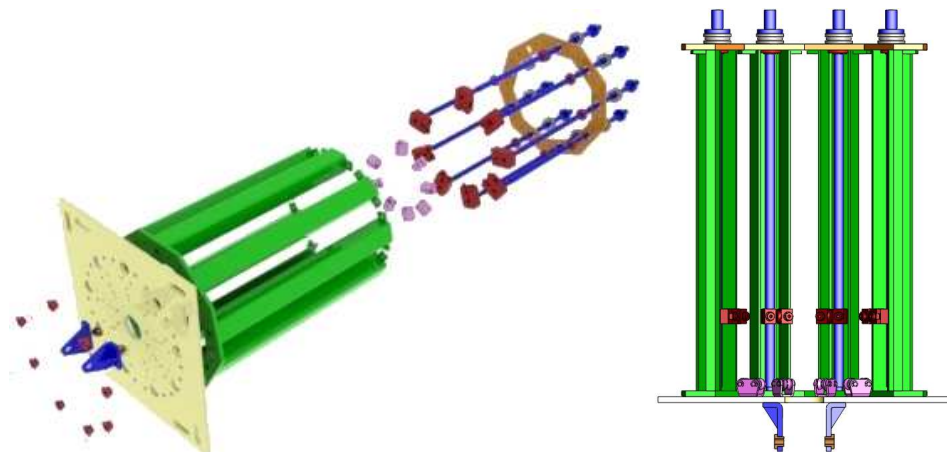
Tato soustava slouží k manipulaci a ovládání sestaveného chapadla. K ovládání dochází pomocí soustavy devíti ocelových lan, která jsou vedena přes kladkový systém a na koncích pevně zakotvena k základně nebo k disku na článku. Systém kladek ovlivňuje použitelnou délku lana a tím dochází ke změně orientace článků k následnému pohybu koncového členu chapadla. Aby kladková sestava měnila délku lan, musí se měnit vzájemná vzdálenost kladek mezi sebou. K tomuto účelu je jedná lanovice umístěna na pojezdném člunku. Skrze tento člunek prochází závitová tyč. Ta může konat v jedné ose rotační pohyb. Jelikož člunek je umístěn ve vodítku které zamezuje jeho rotační pohyb dochází k translačnímu posuvu ve směru rotační osy závitové tyče. Posuvem člunku se zvětšuje nebo zmenšuje dráha propletení lana. Projevení rozdílu dráhy lana je dvojnásobné ku změně polohy člunku ve vodítku.

Sestavu tvoří několik hlavních členů které jsou vzájemně spojeny montážními díly. Na OBR 40 jsou jednotlivě vyobrazeny hlavní prvky ovládání.



OBR. 40 Jednotlivé díly sestavení ovládacího ústrojí

- a) základní deska
- b) nosník chapadla
- c) vodící zařízení
- d) kladičky pro vedení lana
- e) závitová tyč
- f) pojezdový člunek



OBR. 41 Ovládací mechanismus v rozloženém stavu a v podélném řezu při složení

7.3 Kinematický model článkového robota v prostředí SimMechanics

7.3.1 Popsis prostředí

Navržený kinematický model článkového robota je třeba analyzovat a získat potřebné parametry pro následné zpracování virtuální 3D konstrukce. K těmto účelům bude model mechanismu realizován v softwarovém prostředí Matlab/Simulink. Simulink je v dnešní době standardním prostředkem k simulování dynamických systémů, především pak v oblasti návrhu řízení systémů. SimMechanics pak představuje rozšíření Simulinku zvláště pro modelování soustav tuhých těles propojených vazbami. Obsahuje bloky odpovídající reálným částem mechanismů. S bloky se pracuje na fyzikální úrovni, lze je spojovat a vytvářet model charakterizující reálný technický objekt. Podstatou tohoto prostředí je vytvoření matematického modelu technického objektu pro Simulink.

Pro sestavení odpovídajícího kinematického modelu v prostředí SimMechanics byly využity především tyto knihovny :

Bodies:

Machine Environment – definuje pro zařízení jeho simultánní prostředí, ke kterému je blok připojen: gravitace, rozměrnost, druh analýzy, tolerance, linearizace a vizualizace

Ground – reprezentuje rám a lokalizuje v prostředí jeho souřadný systém

Body – prvek reprezentuje tělesa mechanismu

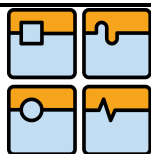
Joint: - knihovna prvků definující propojení mezi dvěma tělesy nebo rámem.

Weld – představuje pevnou vazbu s 0 stupni volnosti

Prismatic – reprezentace prizmatické vazby s 1 translačním stupněm volnosti

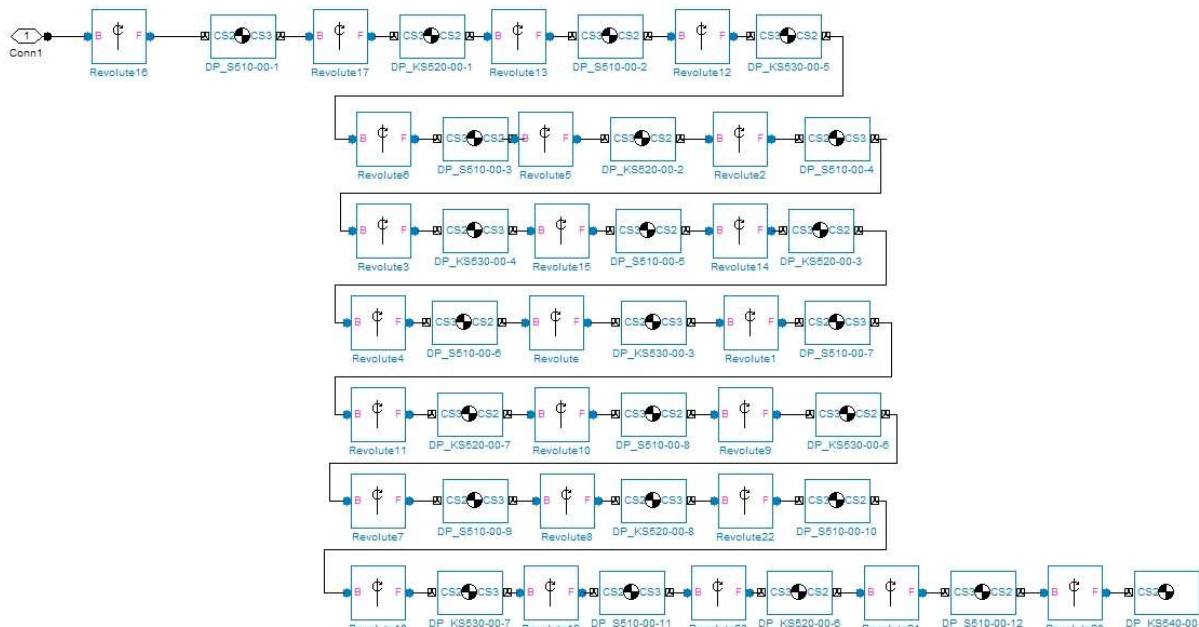
Revoluce - reprezentace rotační vazby s 1 stupněm volnosti

Senzors & Actuators – umožňují snímání veličin z některých jiných bloků nebo naopak působení na tyto bloky.



7.3.2 Simulační model robota

Z výše popsaných prvků se vytvoří model, jenž bude odpovídat navrženému kinematickému modelu v kapitole 7.1 a zkonstruovanému 3D modelu článkového robota.



OBR. 42 – Struktura modelu hada v prostředí SimMechanics

Pružiny v modelu budou nahrazeny blokem *Joint Actuator* s nastavenou stejnou hodnotou, čímž bude dosaženo vyrovnaní natočení ve vazbách.

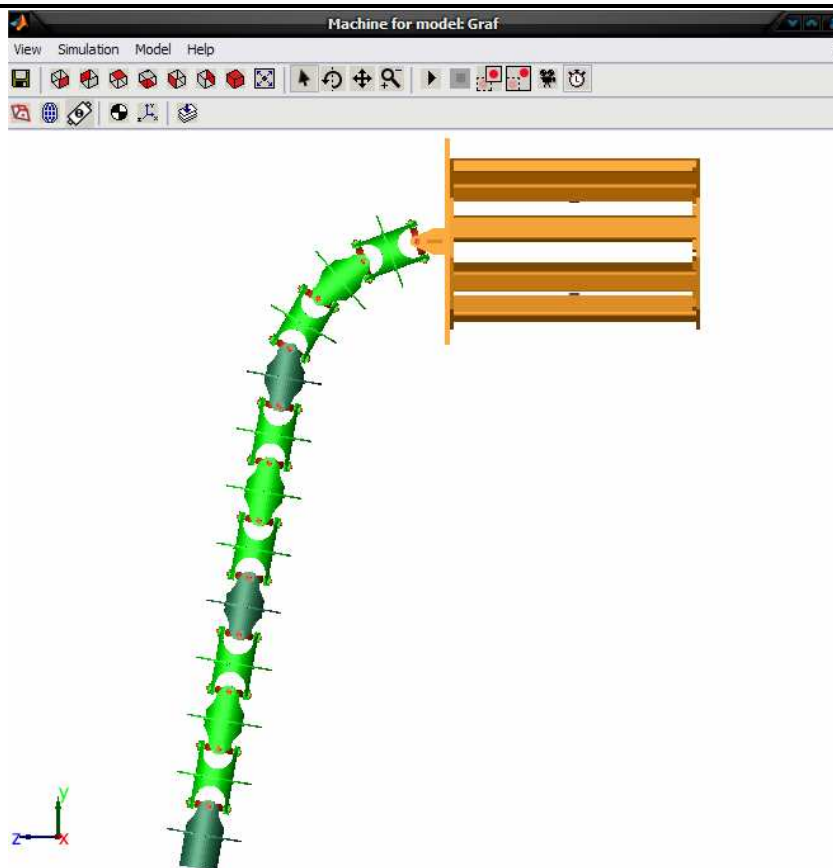
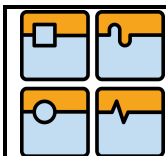
Pro zobrazení hmoty v simulačním prostředí je zapotřebí k vytvořenému modelu vygenerovat datové STL soubory. Tyto data poskytují informace systému pro zhmotnění dílů sestavy.

Simulování kinematiky a zejména dynamiky napomáhá při vývoji mechanismu v předvýrobním procesu. Získáním poznatků o chování soustav v aplikovaném prostředí usnadňuje přizpůsobování strojů pro očekávané pracovní podmínky, případně odhalí nedostatky v předvýrobním procesu.

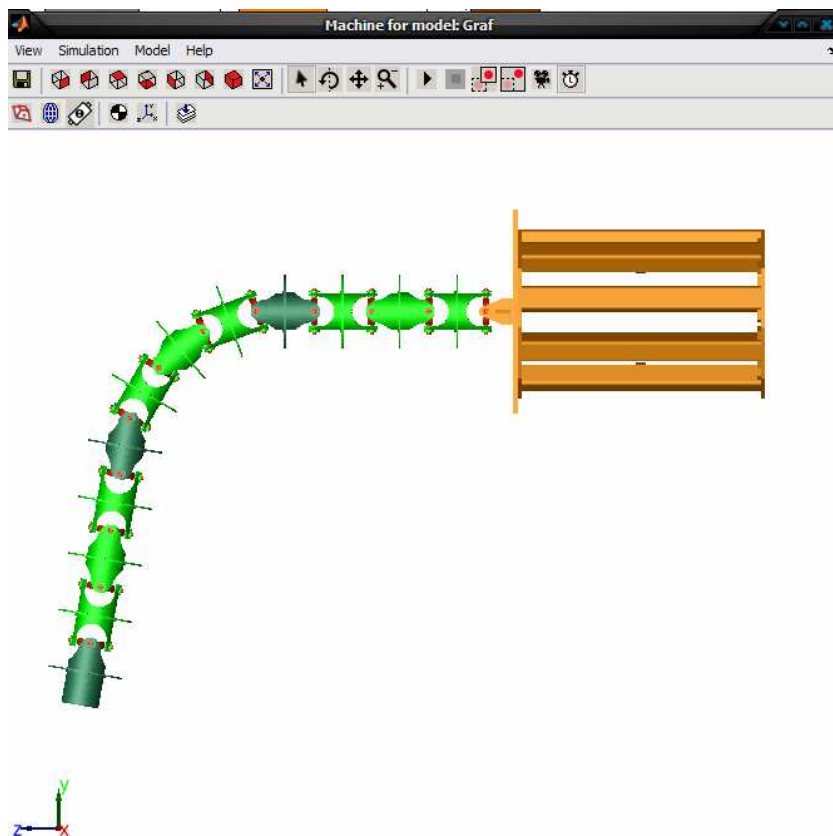
7.3.3 Animace pohybu článkového robota

Při modelování kinematiky a dynamiky prostorových mechanismů se mimo simulační analýzy využívají prostředky vizualizační. Zvolením vhodných prostředků vyobrazení může napomoci k lepšímu porozumění problému. Prostorová animace nese s sebou i další motivací kladné vlastnosti. Tou například může být vysoká poutavost při prezentacích výpočtů, projektů či myšlenek a nápadů.

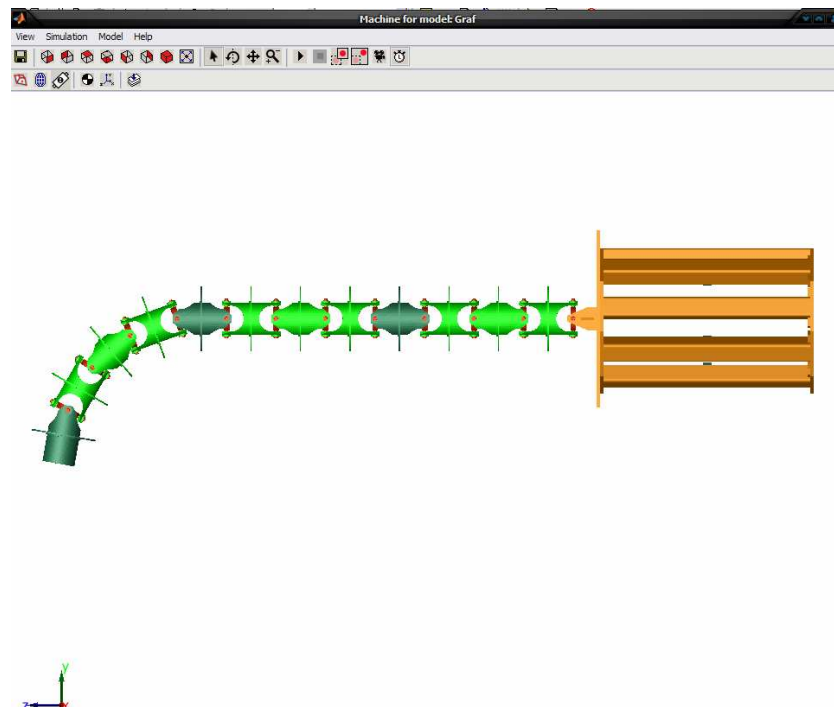
Na článkovém robotu byla aplikována dopředná kinematika pro získání informací o obsluhovaném prostoru.



OBR. 43 Zobrazení ohybu v prvním segmentu kolem osy x

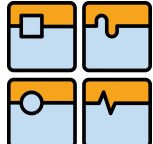


OBR. 44 Zobrazení ohybu v druhém segment kolem osy x



OBR. 45 Zobrazení ohybu v druhém segmentu kolem osy x

Na OBR. 43 až 45 jsou demonstrovány pohyby chapadla v závislosti na pohybu v jednotlivých segmentech. Manipulátor může tyto pohyby kombinovat, a pružněji operovat v celém dostupném prostoru. S výhodou se může dostat i do úzkých míst i přes překážku. Lze je tedy uplatnit pro průzkumné účely v úzkých otvorech. Další možnou aplikací kterou může vykonávat je nanášení laků při provádění povrchových oprav.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 46
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

10. ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo zhotovit konstrukci článkového robotu a navrhnout jeho uplatnění v automatizovaném výrobním procesu. Prvotně je stručně napsaná rešerše týkající se konstrukce průmyslových manipulátorů a robotů. Na rešerši navazuje bližší popis konstrukcí článkových robotů. Poslední část patří návrhu kinematického modelu s následnou konstrukcí manipulátoru a zhotovení vizualizace chování robotu při manipulaci prostorem.

Ze získaných poznatků při studování problematiky robotů tvořených z malých pohyblivých článků jsem navrhl kinematické uspořádání sestavy s charakteristickým skokovým zakřivením. Konstrukce se spojitým zakřivením jsou vyráběny pomocí speciálních pružných dílů, což nesplňuje předem kladené požadavky na zhotovení lehké a jednoduché konstrukce z dostupných materiálů. Požadavkem kladeným na konstrukci bylo připravení pro další případné aplikace. K těmto účelům je jádrem chapadla vedena dutina, jenž je připravena pro vedení medií ke koncovému efektoru. Chapadlo je vytvořeno v sériovém uspořádání, kde jsou články za sebou spojovány křížovým kloubem, který zajišťuje vzájemný prostorový pohyb. K ovládání pohybu ramene robota dochází zprostředkovaně přes ocelová lana, která jsou připevněna k článkům. Každý článek je připojen pomocí tří lan, která dostatečně zajišťují polohu článku v prostoru. Aplikování lan bylo užito z důvodu odlehčení konstrukce chapadla. Pohybový mechanismus je umístěn z druhé strany základové desky. K pohybu lan dochází změnou vzájemné vzdálenosti kladkového ústrojí. Této změny je dosaženo pohybem jedné menší kladky umístěné na člunku ve vodicím žlabu. Vedení zamezuje rotačnímu pohybu člunku, jenž je umístěn na závitové tyči. Při rotačním pohybu závitové tyče je člunek důsledkem chodu závitu nucen konat translační pohyb.

Ke zhotovení 3D modelu byl využit Software pro CAD projektování SolidWorks 2010. K vytvořenému 3D modelu byla následně zhotovena výkresová dokumentace. Dále pak následovalo zhotovení simulace kinematického modelu manipulátoru v prostředí SimMechanics. Odtud jsou získána data pro popsání pracovního prostoru zařízení, která jsou vyobrazena v grafech.

Animování takovýchto systémů je bohužel velmi náročné na hardwarový aparát výpočetní techniky. Proto bylo třeba vizualizovaný model odlehčit o nadbytečné prvky. Těmito prvky byly díly z knihoven toolboxu, nebo třeba sražené hrany.

Plánovaným cílem práce bylo popsání kinematického charakteru robotu v prostoru a blíže popsat možné způsoby řízení. Prvních dvou cílů bylo dosaženo. Ovšem poslední bod se projevil jako velmi komplikovaný. I přes aplikaci pružin za účelem snížení potřebného počtu pohonů, bylo současné řízení 9 pohonů dosti složitou záležitostí.

Další řešení práce by se mohlo zabývat vhodnou volbou řízení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MATIČKA, Robert; TALÁCKO, Jaroslav. *Mechanismy manipulátorů a průmyslových robotů*. 2. přepracované vydání. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1991. 272 s. ISBN 80-03-00567-1.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk; KNOFLÍČEK, Radek. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1.vydání. Košice : VIENALA, 2000. 185 s. ISBN 80-88922-27-5.
- [3] KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I : Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. 1.vydání. Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1993. 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
- [4] KOLÍBAL, Zdeněk; KNOFLÍČEK, Radek. *Robotické systémy vyšších generací : studijní opory* [online]. 2005. Brno : Skriptum VUT v Brně, Říjen 2005 [cit. 2011-03-23]. Dostupné z WWW: <http://www.uvssr.fme.vutbr.cz/?page_id=23>.
- [5] EHRENBARGER, Zdeněk; KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty III : Robotické systémy vyšších generací*. První. VUT Brno : Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1993. 145 s. ISBN 80-214-0530-0.
- [6] CHVÁLA, Břetislav; MATIČKA, Robert; TALÁCKO, Jaroslav. *Průmyslové roboty a manipulátory*. Vydání první. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, n.p., 1990. 275 s. ISBN 04-231-90
- [7] HAVEL, Ivan. *Robotika : Úvod do teorie kognitivních robotů*. první. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980. 280 s. ISBN 04-509-08.
- [8] *Www.motorshopdemammoet.com* [online]. 2010 [cit. 2011-02-01]. Kawasaki Heavy Industries. Dostupné z WWW: <http://www.motorshopdemammoet.com/kawasaki_heavy_industries.htm>.
- [9] *Http://www.ras.ucalgary.ca/~jaeger/* [online]. CALGARY : 2008 [cit. 2011-02-02]. History of Robotics. Dostupné z WWW: <<http://www.ras.ucalgary.ca/~jaeger/visualMedia/images/versatran.jpg>>.
- [10] *Technology* [online]. 22.5.2010 [cit. 2011-02-02]. News.com.au. Dostupné z WWW: <<http://www.news.com.au/technology/gallery-e6frflwi-1225869299404?page=12>>.
- [11] FARAHMAND, Farzam; MIRBAGHERI, Alireza. *Research Center for Science and Technology In Medicine (RCSTIM) : Haptic Teleoperation Robotic Surgery System* [online]. 2010 [cit. 2011-03-02]. Robotic Surgery Group. Dostupné z WWW: <<http://rcstim.tums.ac.ir/RSG/En/index.aspx?ga=RSG&PgId=159>>.
- [12] *Www.cyberdyne.jp* [online]. 2011 [cit. 2011-03-02]. Robot Suit HAL. Dostupné z WWW: <<http://www.cyberdyne.jp/english/robotsuithal/index.html>>.

- [13] *Www.dalmec.com* [online]. 2010 [cit. 2011-03-02]. DALMEC MANIPULAČNÍ SYSTÉMY PRO OBLAST BALENÍ. Dostupné z WWW: <http://www.dalmec.com/cz/applications/packaging/industrial_manipulators_bobbins.html>.
- [14] *Artificial Intelligence Center* [online]. 2006 [cit. 2011-05-08]. SRI International's. Dostupné z WWW:<<http://www.ai.sri.com/shakey/images.php>>.
- [15] *Robotik und Logistik* [online]. 2009, 30.8.2010 [cit. 2011-05-18]. Swivel-Arm Robot. Dostupné z WWW: <<http://www.robotik-logistik.de/index.php?id=53&L=1>>.
- [16] HAIHONG, Hu. *Single Motor Driven Hyper-Redundant Robotic Manipulator* [online]. 2001, 2003 [cit. 2011-05-17]. Intelligent machine dynamics laboratory. Dostupné z WWW: <<http://www.imdl.gatech.edu/haihong/Arm/Arm.html#IT>>.
- [17] DINDORF , Ryszard; LASKI , Pawel; TAKOSOGLU , Jakub. Vývoj prototypů pneumatických paralelních manipulátorů . *Automa* [online]. 2006, číslo 01, [cit. 2011-05-17]. Dostupný z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30884>. ISSN 1210-9592.
- [18] *FESTO.com : Bionic Learning Network* [online]. Esslingen : 04/2010 [cit. 2011-05-19]. Pneumatic lightweight structures. Dostupné z WWW: <http://www.festo.com/cms/en_corp/9648_10151.htm#id_10151>.
- [19] *FESTO.com : Bionic Learning Network* [online]. Esslingen : 10/2010 [cit. 2011-05-19]. Bionic Handling Assistant. Dostupné z WWW: <http://www.festo.com/cms/en_corp/9655.htm>.
- [20] *Www.ocrobotics.com* [online]. 2010 [cit. 2011-05-20]. Technology & Innovation. Dostupné z WWW: <<http://www.ocrobotics.com/technology--innovation/>>.
- [21] BROWN, H.Ben; SCHWERIN, Michael; SHAMMAS, E. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems : Design and Control of a Second-Generation Hyper-Redundant Mechanism. In *Proceedings of a meeting* [online]. 9 Vols. San Diego, USA : Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) , 29 October - 2 November 2007 [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <http://www.cs.cmu.edu/~biorobotics/papers/IROS07_Brown_Woodstock_1129.pdf>. ISBN 9781424409112
- [22] *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online]. 2008 [cit. 2011-05-26]. Bechtěrevova choroba. Dostupné z WWW: <<http://www.stefajir.cz/bechtereleva-choroba>>.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 49
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Disk CD-ROM obsahující:

Elektronická verze diplomové práce

- 2011_DP_KOLAJA_RADIM_76020.pdf

Soubory k 3D modelu k programu SolidWorks

Soubory k programu MATLAB