

# PRŮMYSLOVÁ CHAPADLA

Zdeněk Vrána

Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology  
Institute of Automation and Computer Science  
Technicka 2896/2, Brno 616 69, Czech Republic  
182583@vutbr.cz

## 1 Úvod

Cílem této seminární práce je nabídnout stručný přehled chapadel, navrhnutých s ohledem na možné skutečné aplikace v průmyslu 4.0 a jejich porovnání s chapadly používanými ve standartních průmyslových aplikacích v současné době. Zároveň je zmíněno využití kamerových systémů v těchto aplikacích.

Trendem posledních desetiletí je rozšiřování průmyslové automatizace ve výrobě, s ohledem na zvyšující se požadavky na rychlosť a bezchybnost výroby a zároveň i snižování nákladů, tedy především minimalizace podílu lidské práce.

V průmyslu 3.0 tyto požadavky plní programovatelné automaty a jednoúčelová zařízení, ta však mají jistá omezení. Jak již jejich název napovídá, pokud není zařízení vhodně navrhнуто (vyměnitelná lůžka, nastavitelné všechny funkční prvky stroje), je jakákoli úprava zařízení náročná (finančně i časově), v některých případech i nemožná. Těmito úpravami je myšlen například jiný rozměr vyráběných dílů, jiná požadovaná pozice prvku na dílu, změna pořadí procesů při výrobě (kompletaci) dílu, nebo přidání kontroly jiného parametru vyráběného dílu.

Průmysl 4.0 naopak požaduje, aby bylo zařízení více "samostatné". To znamená, že nebude požadována přesná orientace dílu, ale robot (nebo obecně manipulátor), si pomocí kamerové kontroly díl najde sám, například v krabici, a poté ho správně uchopí a vloží do požadované pozice. Zároveň je požadováno, aby se zařízení dalo diagnostikovat, případně softwarově upravit vzdáleně. Tj. je důležité, aby zařízení nebo jeho prvky byly připojené k internetu.

## 2 Klasická chapadla

### 2.1 Paralelní chapadla

Paralelní chapadla patří k nejčastěji používaným typům. U paralelních chapadel se čelisti pohybují lineárně směrem k sobě. Čelisti v sobě mají otvory se závitem, pro konkrétní použití je tedy potřeba navrhnout a vyrobit vlastní tvar čelisti. Díl je poté možno držet z vnější nebo i vnitřní strany, tedy při uzavření nebo otevření čelistí.

Chapadla jsou poháněna buď stlačeným vzduchem, nebo elektrickým pohonem, kdy je využíván DC motor nebo krokový motor. Samotné posunutá čelistí je realizováno nejčastěji pomocí ozubeného převodu, kdy je pohyb vyvolán posunutím pístu pomocí stlačeného vzduchu, nebo otočením hřídele motoru. Rychlosť, resp. sílu sevření u pneumatických chapadel řídíme pomocí redukčních a škrticích ventilů, u elektrických chapadel vhodným řízením motoru.

Autoři článku<sup>1</sup> statistickým zpracováním zjistili, že velká část vyráběných paralelních chapadel jsou malá chapadla s malým zdvihem a pracovním rozsahem sil. Průměrný zdvih chapadla je 20,78 mm, průměrná síla 1020 N. Medián je 9,55 mm a 320 N. Chapadla s velkým zdvihem a pracovní silou nejsou často používaná, protože mají výrazně vyšší pořizovací náklady a pro takové aplikace je většinou výhodnější využít obsluhu zařízení a velký manipulátor, např. konzolový jeřáb. V poslední době se však i tento trend mění, díky robotům s velkou (1000kg) nosností se dají využít i velká chapadla.

<sup>1</sup>BIRGLEN Lionel, Schlicht Thomas. A statistical review of industrial robotic grippers[online]. Dostupné z: <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0736584516304240>

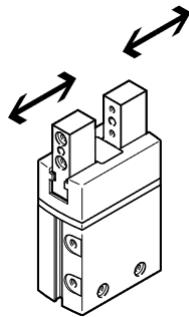


Figure 1: Průmyslové paralelní chapadlo

## 2.2 Tříbodová chapadla

Tříbodová chapadla mají nejčastěji tvar válce. Čelisti (často 3) se pohybují ve směru kolmém na osu chapadla. To znamená, že při uzavření čelistí je možné uchycený díl přesně vystředit, což usnadňuje další kroky při práci s dílem, například umístění do pracovní stanice.

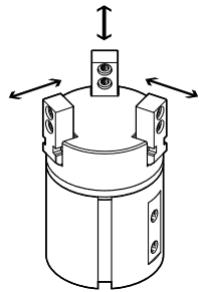


Figure 2: Průmyslové tříbodové chapadlo

## 2.3 Úhlová chapadla

Čelisti úhlových chapadel se otáčí kolem 2 bodů, jejich trajektoriemi jsou kružnice. Používají se v situacích, kdy je potřeba uchytit součást v jednom bodě. Další využití je při takových aplikacích, kdy v pracovním prostoru není dostatek prostoru pro paralelní chapadlo, protože úhlové chapadlo nabízí více prostoru mezi čelistmi při plném otevření. Otevření čelistí je realizováno podobně, jako u paralelních, tedy pomocí ozubeného převodu.

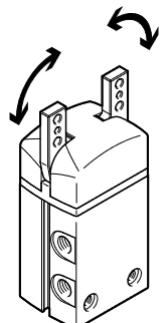


Figure 3: Průmyslové úhlové chapadlo

### 3 Soft gripper

Další rozvíjející se průmyslovou aplikací jsou soft grippery. Dají se popsat jako chapadla s měkkým uchycením předmětu. Časté využití najdou při práci s měkkými nebo křehkými předměty.

Existují 2 přístupy návrhu soft gripperů. U prvního z nich jsou prsty, respektive jejich články ovládány přímo, je využíváno např. shape memory slitin nebo polymerů, případně jiných materiálů s požadovanými vlastnostmi. Tyto grippery však využití v průmyslu zatím nenašly, především kvůli pomalé rychlosti reakce na přivedené napětí nebo nízkým přídržovacím silám.

V druhém přístupu jsou prsty flexibilní a jsou ovládány pomocí táhla (lanko nebo provaz) a externího motoru. Prsty jsou často tvořeny pomocí silikonových odlitků nebo 3D tiskáren, u kterých je možno změnou parametrů tisku (především hustota vnitřní výplně prstu) možno měnit mechanické vlastnosti prstů. Článek<sup>2</sup> představuje návrh kombinovaného chapadla, kdy je použit soft gripper a zároveň je na chapadle namontována přísavka pro další práci s objektem.

Prsty gripperu jsou vytisknuty z flexibilního materiálu na 3D tiskárně, pro lepší přídržnost dílu je vnitřní strana pokryta flexibilními podložkami, které byly laserově vyříznuty z komerčně dostupného pouzdra na mobilní telefon. Pro ovládání prstů byl využit podtlakový aktuátor s pumpou, který zajistuje lineární ovládání smrštování prstů, jejich síla se tedy dá ovládat, případně se dá využít silnější vakuová pumpa. Celková cena tohoto gripperu byla vyčíslena na 33 AUD.

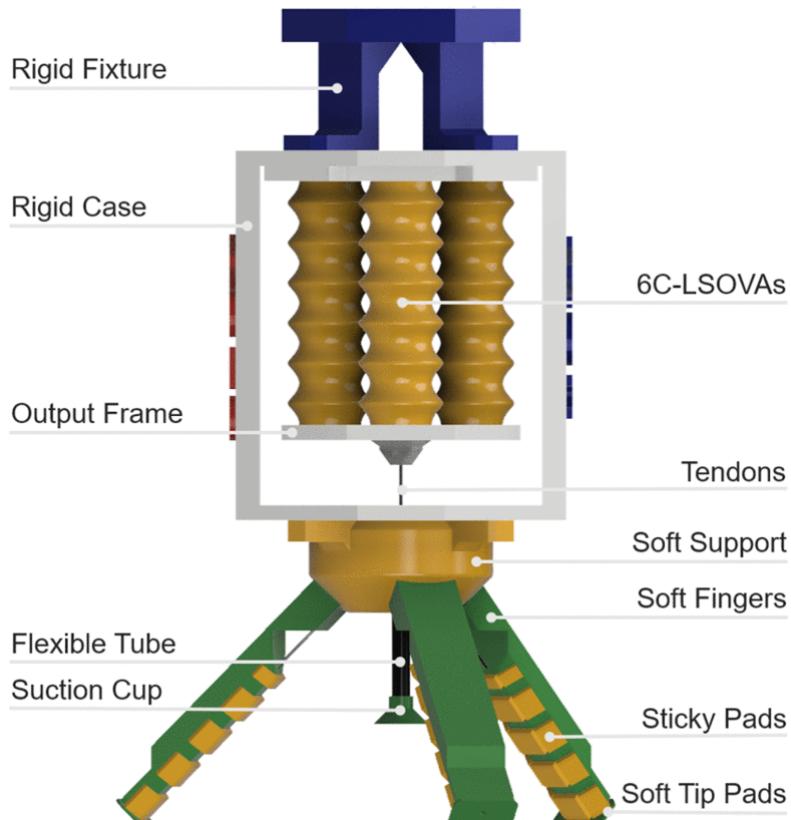


Figure 4: Soft gripper z výše uváděného článku

### 4 Kamery

V průmyslové automatizaci jsou kamery využívány především pro kontrolu důležitých parametrů na vyráběném díle. Těmito parametry může být vizuální kontrola svaru (převážně u plastových dílů), kontrola správného umístění označení dílu (vypálení laserem, umístění nálepky). Přítomnost dílu v jednotlivých pracovních stanicích je většinou ověřována samostatným čidlem, které ale díl nijak jinak nekontroluje. V průmyslu 4.0 jsou kamery

<sup>2</sup>TAWK Charbel, Et al. A 3D-Printed Omni-Purpose Soft Gripper[online]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8842591>

využívány častěji. Můžou vyhledávat díl v oblasti nebo kontrolovat jeho celkový stav po některém kroku výrobního procesu.

Díky kontrole kamerou zároveň může robot díly třídit dle požadovaných parametrů, pokud bude v krabici více typů dílů. Toto třídění může zároveň fungovat jako kontrola kvality vstupních dílů, kdy nevhodné díly, například o špatném rozměru nebo s detekovatelnou povrchovou vadou, nebudou robotem rozpoznány, a tedy nebudou pokračovat dále do procesu výroby.

## 5 Přehled možností chapadel v průmyslu 4.0

V této části budou zmíněny 3 články, popisující návrh a realizaci chytrých chapadel. Články byly voleny tak, aby ukázaly taková řešení, která můžou najít uplatnění v průmyslu, tedy dají se použít ve větším měřítku i ve výrobních linkách.

### 5.1 Manipulace s kabely

Článek<sup>3</sup> popisuje návrh systému pro manipulaci s kably, především z pohledu jejich uchopování a detekce v chapadle. Jako vzorová úloha byla zvolena kompletace elektrického jističe, tedy zavedení kabelu do otvoru a zajištění šroubem. Poloha kabelu je určena pomocí kamery, poté je kabel uchycen pomocí elektrického chapadla se čtyřmi stupni volnosti. Po zjištění polohy kabelu v chapadle se systém přesune nad jistič, kamerou je ověřena pozice konce vodiče, kabel je vložen do požadovaného otvoru, a pomocí elektrického šroubováku je zajištěn.

Na obou čelistech chapadla je dotykový senzor, pomocí zpracování dat z těchto senzorů je určena pozice kabelu. Pro zjištění polohy byl zvolen zjednodušený matematický model takový, aby jej dokázal spočítat mikrokontroler, umístěný na vlastní desce plošných spojů, integrované poblíž samotného chapadla.

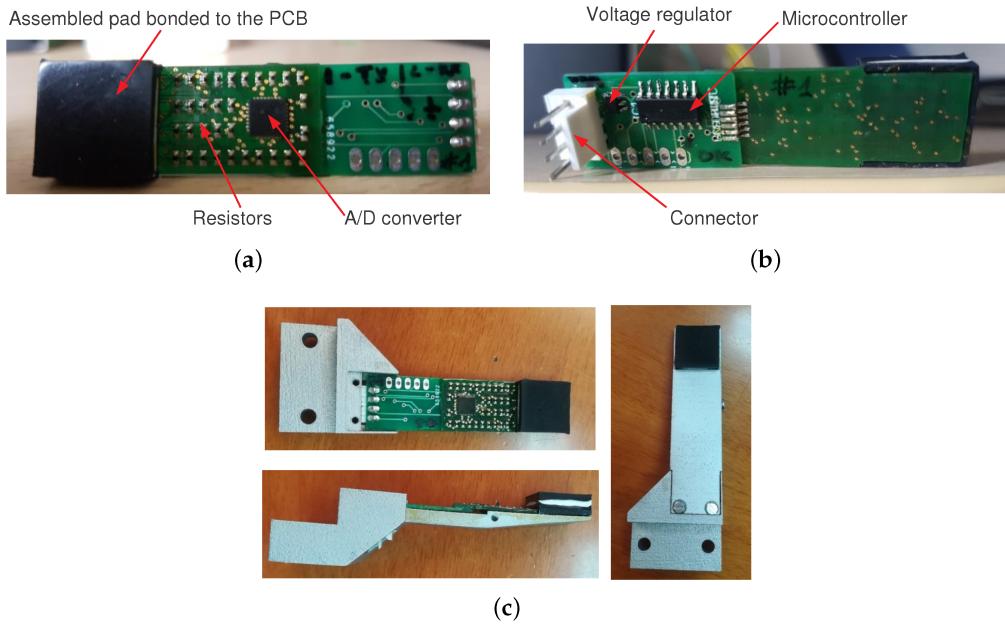


Figure 5: Kompletní čelist chapadla

Manipulaci s kably popisuje i článek<sup>4</sup>. Bylo navrženo paralelní chapadlo, které je pružinou zajištěno v otevřené poloze, a zavírání je ovládáno provázkem na servomotoru. Pro detekci kabelu je také použitý dotykový senzor. Jako vzorová úloha bylo zvoleno zapojování konce kabelu, v tomto případě nabíjecí konektor typu micro-USB, a zapojení 3,5mm konektoru typu jack.

Jako nejčastější situace, při kterých manipulace selhala, autoři uvádí přechytávání kabelu (kabel je jedním

<sup>3</sup>PALLI Gianluca, Et al. A Tactile-Based Wire Manipulation System for Manufacturing Applications [online]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2218-6581/8/2/46.htm>

<sup>4</sup>SHE Yu, Et al. Cable manipulation with a tactile-reactive gripper [online]. Dostupné z: <https://journals-sagepub-com.ezproxy.lib.vutbr.cz/doi/full/10.1177/02783649211027233>

chapadlem přidržen a druhé se posune), a chyby při zapojování konektoru, konkrétně špatná detekce konce kabelu a špatné zasunutí konektoru při jeho maximálním natočení v chapadle.

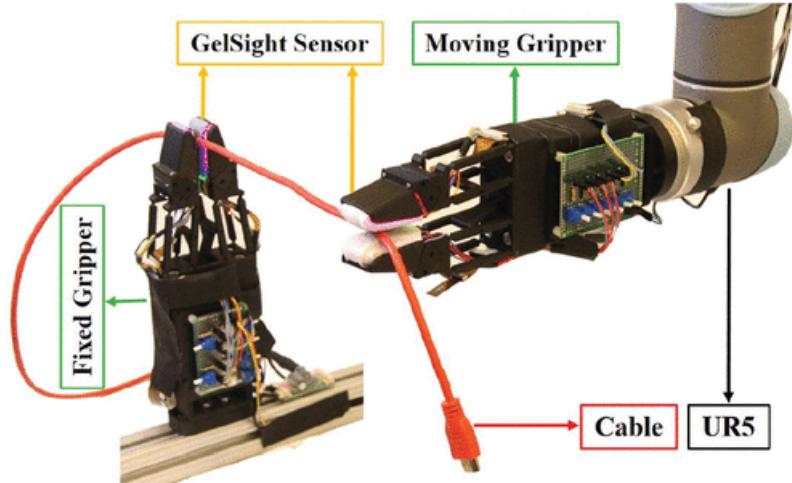


Figure 6: Obě čelisti chapadla

## 5.2 Povolování matic

V článku<sup>5</sup> je popsána práce, zabývající se návrhem robota pro montáž a demontáž matic. Jako vzorová situace je uvedeno rozebírání bateriových článků z elektrovozidel. Tedy problém, který v budoucnosti bude potřeba vyřešit. Robot tedy musí najít a povolit matici. Natočení matice na šroubu není vždy stejné, kvůli technologii výroby závitu šroubu, tolerancím a možné změně natočení matice během provozu nebo údržby elektrovozidla (vliv teplot okolí, vibrací nebo případného servisního zásahu).

Poloha matice je určena pomocí měření momentů na jednotlivých motorech (osách) robota, kdy zvýšení momentu znamená odpor proti pohybu robota, což je překážka, a tedy možné místo, kde se nachází matice. Kamera nebyla využita kvůli eliminaci nejistoty, způsobené perspektivou kamery.

Po nalezení je matice povolena pomocí paralelního elektrického chapadla se dvěma čelistmi. Alternativou by bylo použití elektrického šroubováku, ale ten neumožňuje povolování více rozměrů matic. Tento nedostatek by šel vyřešit automatizovanou výměnou nástrojů, což by ovšem mělo vliv na rychlosť zařízení. Autoři článku uvádí 95% úspěšnost při vyhledávání a povolování matic.

## 6 Závěr

Průmysl 4.0 se teprve rozvíjí, nelze tedy s jistotou říct, jakou cestou se budou kompletní průmyslová řešení, např. kamerové systémy nebo chapadla, vyvíjet. Z výše uvedených realizací však lze říci, že dojde k častějšímu používání elektricky řízených chapadel, protože ta, na rozdíl od často používaného stlačeného vzduchu, nabízí plnou kontrolu nad jejich pohybem. Zároveň to bude mít vliv na komplexnost samotných realizací, protože pneumatické prvky musejí být ovládány (nejčastěji) elektromagnetickým ventilem. U elektrických prvků jde využít přímo výstup z PLC. Zároveň se tím zvýší rychlosť diagnostiky chyb, protože u elektrických prvků může selhat pouze samotné chapadlo, kdežto u pneumatických chapadel může dojít i k selhání ventilu.

Průmysl 4.0 neznamená, že stávající jednoúčelová zařízení zaniknou, ale při jejich úpravách a rozsáhlejších opravách budou některé prvky nahrazovány tak, aby se stále větší část zařízení dala online diagnostikovat, případně softwarově upravovat.

Příkladem můžou být průmysloví roboti, kde je velmi často nabízeno integrované připojení pneumatiky a napájení, a hadice a kably tedy nemusí být vedeny vnějškem robota, čímž nehrozí jejich zamotání a poškození.

<sup>5</sup>RATEGARPARAH Alireza, Et al. Nut Unfastening by Robotic Surface Exploration [online]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2218-6581/10/3/107.htm>

V těchto situacích je otázkou, jestli bude stávající systém, nabízející malé množství vodičů, dostačující.

Řešení výše zmíněných problémů samozřejmě bude záviset na nabídce výrobců chapadel, pohonů, řídicích systémů a dalších prvků, používaných v průmyslové automatizaci. Tito si však situaci uvědomují, a nabídku odpovídajícím způsobem rozšiřují.