

# Inovace laboratoře robotiky v oblasti pohonů

Článek informuje o způsobu provádění praktické části výuky robotiky v ÚAMT VUT v Brně a o inovaci uskutečněné zde nedávno v oblasti elektrických pohonů pro robotická zařízení.

## Výuka robotiky v ÚAMT

Ústav automatizace a měřicí techniky (ÚAMT), který je součástí Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně, zajišťuje výuku robotiky celkem ve dvou semestrech. V jednom semestru probíhá výuka pro studenty bakalářského studia, druhý semestr je určen pro studenty magisterského studia. V každém semestru navštěvuje předmět v průměru 80 studentů. Při takových počtech studentů je velmi obtížné zajistit kvalitu praktické části studia.



Obr. 1. Pohon Dynamixel RX-64 opatřený spojovacími prvky (kovovými)

V daném případě se osvědčila výuka formou projektů, na nichž pracují až pětičlenné skupiny studentů pod dozorem pedagogických pracovníků. Studenti jsou takto nejen vedeni k tomu, aby vyřešili daný odborný problém, ale také se učí týmové spolupráci. V mnoha případech se tak dospěje k velmi zajímavým výsledkům, které mohou přispět k další motivaci studentů, k formulování zadání dalších projektů, a dokonce i k řešení některých výzkumných problémů.

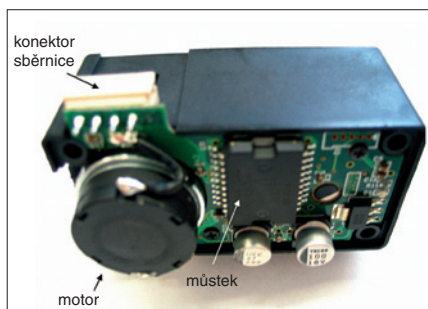
Uvedený přístup také snižuje finanční náročnost výuky, pokud jde o náklady na vybavení laboratoře. Avšak i tak jsou náklady na praktickou výuku, vzhledem k neustálému technickému vývoji prvků používaných v robotických systémech, značné. Vybavení laboratoře se v potřebné kvalitě daří obnovovat mj. díky podpoře poskytované v rámci projektů Fondu rozvoje vysokých škol MŠMT. Článek dále přibližuje inovaci uskutečněnou

nedávno v ÚAMT v oblasti elektrických pohonů pro robotická zařízení.

## Použití servomechanismů v pohonech robotů

V robotických projektech se ve velké míře používají elektrické pohony. K sestavení byť jen jednoho velmi jednoduchého humanoidního robota je třeba mít alespoň šest řízených pohonů. V minulosti byly v robotice pro tyto účely používány servomechanismy běžně používané v modelech řízených rádiem (modelářská serva). Hlavní předností těchto serv je poměrně nízká cena. Z hlediska použití v robotice však mají mnoho nedostatků. Asi největším z nich je způsob nastavování žádané polohy a obecně komunikace se servem. Ačkoliv jsou dnes některá serva uvnitř řízena procesorem, je z důvodu kompatibility zachován způsob nastavování pomocí doby trvání pulzu v tranzistorové logice (TTL). Není tedy možné nastavovat další parametry a především nelze vyčítat aktuální hodnotu natočení serva. Každý takový pohon musí být propojen s centrální řídicí jednotkou vlastním kabelem, což v případě konstrukcí s většími počty pohonů přináší vážné problémy s kabeláží. Po zapnutí se serva skokem přestavují do polohy určené řídicím signálem, kterým je doba trvání pulzu analogového signálu (modulace šířkou pulzu – PWM).

K nedostatkům servomechanismů patří také pevná struktura algoritmu a parametrů regulátoru použitého v jejich konstrukci. Nelze s nimi tudíž např. vyvinout proměnný moment nebo sílu. Konstrukce modelářských serv dále neumožňuje použít je jako zdroje spojitého pohy-



Obr. 2. Pohled na pohon ze strany odvrácené od hřídele

bu po delší dráze, např. k pohonu kol mobilních robotů apod. Serva totiž mají omezený rozsah natočení (obvykle 180° nebo méně) a nedovolují realizovat kontinuální otáčivý pohyb.

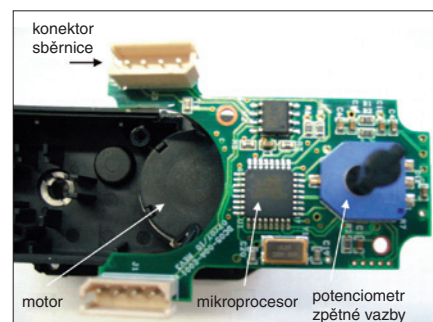
Některé z uvedených nedostatků nové generace digitálních serv již nemají, pro plnohodnotné a kvalitní řízení pohybu je však tato inovace stále ještě nedostatečná. Protože výroba vlastních pohonů, které by dokonale vy-

hovovaly požadavkům v oboru robotiky, je mimo možnosti většiny školních pracovišť, byl pracovníky ÚAMT hledán – a nalezen – vhodný systém pohonů na trhu.

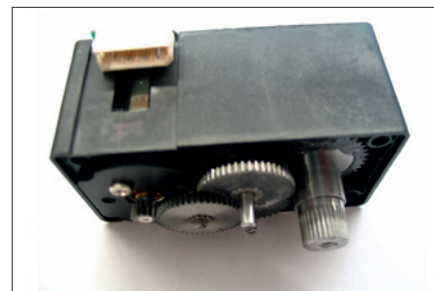
## Pohony Dynamixel

V současné době jsou na trhu k dispozici pohony od firmy Robotis [1], které již nemají většinu nedostatků vlastních modelářských servům. Jde o řadu pohonů s firemním označením Dynamixel, primárně určených ke stavbě humanoidních a zooloidních robotů, např. ve stavebnici Bioloid [2].

K původní řadě motorů Dynamixel s označením AX jsou v současné době přidány dvě



Obr. 3. Pohled na vnitřní uspořádání pohonu ze strany odvrácené od hřídele s vyklopenou deskou plošného spoje



Obr. 4. Pohled na pohon bez krytu ze strany hřídele

výkonnější a robustnější řady označené RX a EX. Ke každé z řad je k dispozici promyšlená sada spojovacích mechanických prvků, z nichž lze sestavovat různá ramena a mechanismy. Zatímco řada AX používá plastové spojovací prvky a v samotném pohonu plastové převody, řada RX je již vybavena kovovými převody i spojovacími prvky, takže je k použití při praktické výuce výhodnější (obr. 1).

## Uspořádání pohonu RX-64

Pohony Dynamixel jsou digitální. Jádrem řídicí jednotky je mikroprocesor Atmel ATmega8, který přes spínací můstek H typu

L6201 řídí motor Maxon RE-max. Motor pohání přes převodovku s převodem 1:200 výstupní hřídel pohonu. Poloha výstupní hřídele je snímána potenciometrem muRata SV01 [3]. Tento potenciometr měří úhel natočení v rozsahu  $333,3^\circ$ , ale může se kontinuálně otáčet. Napětí z potenciometru je desetibitovým A/D převodníkem převáděno na číselný údaj úhlové polohy hřídele. Z řady těchto údajů je pak běžným postupem vypočítávána i rychlost otáčení výstupní hřídele pro regulaci otáčivé rychlosti pohonu. Konstrukci pohonu ukazují *obr. 2*, *obr. 3* a *obr. 4*.

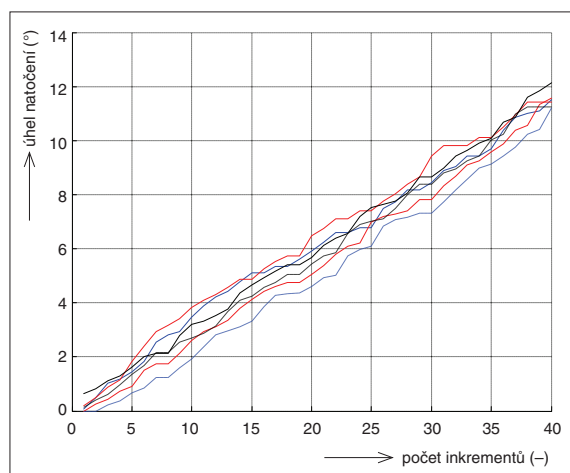
Regulační struktura pohonu se skládá z regulačních smyček proudu (resp. točivého momentu), rychlosti a polohy (úhlu natočení). Zá-

rečný údaj kontrolní součet. Nachází-li se na sběrnici pohon s odeslaným ID, dorazí do řídicí jednotky obratem odpověď o vykonání příkazu, popř. chybové hlášení.

### Technické parametry pohonu RX-64

Základní katalogové údaje pohonu jsou hmotnost 125 g, rozměry  $40,2 \times 61,1 \times 41,0$  mm, napájecí napětí 12 až 21 V DC. Na napájecím napětí jsou závislé mezní točivý moment (6,4 až 7,7 N·m) a maximální otáčky (asi  $0,8$  až  $1 \text{ s}^{-1}$ ). U pohonu je udáván rozlišovací krok  $0,29^\circ$  při rozsahu nastavení polohy  $300^\circ$  a možnost kontinuálního otáčení s možností nastavení otáček.

Uváděné údaje je ovšem nutné při použití pohonnů v úlohách s většími požadavky na přesnost prověřit. Na *obr. 5* jsou uvedeny výsledky několika měření, při nichž byl nezatížený pohon postupně přestavován po jednom inkrementu žádané hodnoty. Je patrné, že pohon v některých případech na jeden či několik inkrementů nereagoval. Průměrná hodnota pootočení připadající na jeden inkrement (ze všech uvedených měření) je  $0,288^\circ/\text{inkrement}$ . Co se týče řízení rychlosti pohonu při kontinuálním otáčení, nemá pohon, vzhledem k použitému potenciometru, rychlostní zpětnou vazbu. Je tedy třeba provést kalibraci.



Obr. 5. Úhel natočení výstupní hřídele pohonu v závislosti na počtu požadovaných inkrementů

dané hodnoty úhlu natočení a rychlosti jsou do pohonu zadávány z nadřazeného počítače přes sériovou sběrnici. Touto cestou lze také měnit parametry regulačního obvodu a získávat aktuální údaje polohy výstupní hřídele, její rychlosti otáčení, točivého momentu atd.

### Komunikační sběrnice

Pohony se ovládají prostřednictvím sběrnice RS-485, kterou také mohou být mezi sebou propojeny. Jde o dvou vodičovou sběrnici, ke které lze připojit až 254 daných pohonnů s unikátními identifikačními čísly (ID). Pohony se připojují čtyřvodičovým kabelem vedoucím napájení, zem a komunikační signály (typu A a typu B). Každý pohon má dva navzájem vnitřně propojené konektory (vstup, výstup k dalšímu zařízení). Velkou předností celého zapojení je jeho rozšiřitelnost. Je-li do existující sítě třeba přidat další pohon, stačí sběrnici v libovolném místě rozpojit a vložit nový pohon. Malou daní za tuto variabilitu je nutnost mít sběrnici o čtyřech vodičích. Komunikační protokol přesně odpovídá potřebám při řízení sběrnice a připojených pohonnů. Zpráva začíná jednoznačným identifikátorem začátku zprávy. Následují ID pohonu, údaj o délce zprávy, vlastní instrukce, hodnoty příslušných parametrů a jako závě-

### Podpora

Ze strany výrobce i příznivců internetu jsou produkty řady Dynamixel dobře podporovány. Na internetu existují volně ke stažení graficky pěkně zpracované programy pro řízení a nastavování parametrů pohonnů a vývojové nástroje (SDK) pro mnohé z používaných programovacích jazyků, popř. prostředí (LabVIEW, Matlab, Java, Visual Basic, C/C++, C#, Python). Zkušenější programátoři jsou schopni si bez problémů napsat svoji vlastní knihovnu pro řízení těchto pohonnů, která bude lépe vyhovovat jejich potřebám.

### Závěr - doporučení

Díky grantu FRVŠ má skupina robotiky ÚAMT poměrně značné zkušenosti s používáním pohonnů Dynamixel. Celkově lze říci, že jednotky jsou vhodné pro výuku robotiky i pro některé jednodušší reálné úlohy. Je však také důležité dodat, že při práci s jednotkami je třeba brát v úvahu skutečné hodnoty jejich parametrů a omezení, která jsou těmto pohonnům vlastní. Určitým problémem může někdy být skutečnost, že s pohony se komunikuje prostřednictvím sběrnice RS-485. Z pohledu autorů jde však jednoznačně o přednost, pro-

tože jde o kvalitní komunikační sběrnici, která se v průmyslových úlohách používá zcela běžně. Studenti si tak vyzkouší připojení k mikroprocesorovému systému při použití této sběrnice, popř. mají k dispozici převodník mezi sběrnici RS-485 a USB, umožňující připojit systém pohonnů k běžnému PC. Pro potřeby studentských projektů je vytvořena vlastní objektová knihovna v jazyce C#, která umožňuje nastavit a sejmout hodnoty všech parametrů jednotek Dynamixel, navíc s možností obslužit libovolný počet těchto jednotek. Studenti jsou tak odděleni od samotného protokolu a mohou se soustředit na vlastní problém. Zkušenosti s využitím pohonnů Dynamixel jsou ve skupině robotiky ÚAMT vcelku pozitivní,



Obr. 6. Použití pohonnů v mechanismu dálkového - teleprezenčního ovládní kamery

především v oblasti teleprezence (*obr. 6*). Při použití v úlohách vyžadujících větší přesnost a opakovatelnost chování pohonu je však zapotřebí postupovat velmi uvážlivě.

### Poděkování

Článek vznikl s podporou projektu č. 2577/2010/F1/a Fondu rozvoje vysokých škol ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy.

### Internetové odkazy:

- [1] *Informace firmy Robotis* [online]. Dostupné na <<http://www.robotis.com/xel/>> [cit. 2010-10-30].
- [2] *Informace firmy Robotis* [online]. Dostupné na <[http://www.robotis.com/xel/bioloid\\_en/](http://www.robotis.com/xel/bioloid_en/)> [cit. 2010-10-30].
- [3] *Katalog firmy Murata* [online]. Dostupné na <<http://www.murata.com/catalog/r50/el0595.pdf>> [cit. 2010-10-30].

prof. Ing. František Šolc, CSc.  
(solc@feec.vutbr.cz),  
doc. Ing. Luděk Žalud, Ph.D.  
(zalud@feec.vutbr.cz),  
Ing. Tomáš Florian  
(florian@feec.vutbr.cz),  
ústav automatizace a měřicí techniky  
FEKT VUT v Brně