

AN EFFECTIVE APPROACH TO DESIGN OF INTERACTIVE MECHATRONIC SYSTEM

R. Grepl¹, R. Vlach¹, P. Krejčí¹

Summary: *This paper deals with the ideas of an effective approach to computer modelling of mechatronic system. The classification of used models is described as well as optimal usage of each class of model. Two experimental design of mobile walking robots is briefly mentioned as an example of the method application.*

1. Úvod

V tomto článku se stručně popíšeme jeden z možných přístupů k problematice počítačového modelování mechatronických soustav. Mechatronickou soustavu zde chápeme jako komplexní (obsahuje subsystémy různé fyzikální podstaty) dynamický interaktivní (významná je „komunikace“ soustavy s obecně dynamických okolím) systém.

V našich úvahách předpokládáme, že model soustavy má charakter systému se soustředěnými parametry, dynamické modely jsou tedy založeny na řešení soustav ODE resp. DAE (v mechanice jde o MBS – multi body systems).

V neposlední řadě považujeme za velmi významné racionální využívání simulačního modelování a především jeho kombinaci s modelováním experimentálním. Vždy je nutno mít na paměti, že výsledky simulačního modelování je nutno verifikovat experimentem, jinak je jejich hodnota diskutabilní.

Teoretické úvahy o charakteru a efektivních postupech počítačového modelování chápáme jako inženýrský nástroj demonstrujeme na dvou příkladech realizací laboratorních experimentálních fyzických modelů mobilních robotů. Mobilní robot, který realizuje poměrně dosti komplikovanou činnost – chůzi – může být považován za ideální modelový případ komplexní dynamické interaktivní (mechatronické) soustavy.

2. Typy počítačových modelů

Počítačové modelování spojuje matematickou teorii, výpočetní rychlost počítačů a expertní inženýrský úsudek konstruktéra. Ve výsledku pak umožňuje:

¹ Ing. Robert Grepl, Ph.D., Ing. Radek Vlach, Ph.D., Ing. Petr Krejčí, Ph.D., Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, Czech Republic, email: grepl@fme.vutbr.cz, web: <http://www.umd.fme.vutbr.cz/~rgrepl/>

- snížení ceny vyvíjeného výrobku – zpravidla platí, že proces počítačového modelování vykazuje nižší náklady než čistě experimentální modelování (reálný prototyp)
- zrychlení návrhu – možnost rychlého prověření mnoha variant
- bezpečnost – prostředí počítačové simulace umožní modelování poruchových a havarijních stavů systému, které jsou reálně obtížně dosažitelné nebo extrémně nákladné

2.1. Základní úlohy

V určitých fázích návrhu mechatronického systému můžeme řešit izolovaně jednotlivé mechanické, elektrické a další problémy. Jsou to zejména:

problémy kinematiky – přímá a inverzní kinematická úloha, generování trajektorie. Matematicky představuje řešení soustav algebraických nelineárních rovnic, příp. transcendentních rovnic. Analytické řešení inverzní úlohy často nelze najít a používá se iterační algoritmus využívající výpočtu Jakobiánu.

úlohy statiky – slouží k přibližnému (a někdy i dostačujícímu) dimenzování pohonů a mechanických částí robotu. Matematicky jde o řešení algebraických rovnic.

úlohy dynamiky – zahrnuje setrvačné účinky mechanických částí systému, které mohou být podstatné. Přímá úloha představuje řešení soustavy nelineárních obyčejných diferenciálních rovnic, inverzní úloha nelineární algebraické rovnice.

návrh pohonů – na základě znalosti potřebné síly a rychlosti resp. momentu a úhlové rychlosti vybíráme (příp. konstruujeme) vhodný motor a převodovku (v případě elektromotoru).

pevnostní analýzu – slouží k dimenzování jednotlivých částí konstrukce. V našem případě jsme se spokojili s hrubou kontrolou únosnosti součástí, důkladná optimalizace tvaru nebyla prováděna (např. z důvodu relativně malého poměru hmotnosti mechanické konstrukce k celkové hmotnosti robotu).

syntéza řízení pohonů – pomocí klasické teorie řízení navrhujeme regulační struktury servo-pohonů. V případě významné dynamiky mechanismu a malé výkonové rezervy pohonu je nutno využívat dynamického modelu mechanismu (čímž se úloha pomalu přesouvá do kategorie „komplexních modelů“ popsaných v následující části).

2.2. Komplexní model

Základní úlohy popsané v předchozí části nám ovšem nemohou poskytnout věrohodný pohled na systém jako celek a obtížně zachytí informační a energetické toky mezi jednotlivými podsystémy.

Proto navrhujeme model, který jednotlivé základní úlohy propojuje a doplňuje a který lze nazývat *komplexní*. Jeho jednotlivé součásti mají často tento charakter:

mechanický model – popisuje dynamiku mechanismu robotu, přičemž jako akční síly působí výstupy z jiných systémů, např. elektrického

elektrický model – popisuje dynamiku elektrické části pohonu

elektronický model – modeluje zpracování sensorické informace, v případě potřeby pak dynamiku dalších elektronických prvků

model řízení servopohonů

vyšší úrovně řízení a plánování – generování trajektorie, rozhodování, inteligence stroje

Komplexní modelování je vhodné používat při návrhu vysoce optimalizovaných soustav. Klasický přístup konstrukce charakterizovaný dekompozicí a izolovaným řešením dílčích problémů totiž obecně vede k předimenzování parametrů systému, což např. v případě mobilních robotů, nelze akceptovat.

Z charakteru komplexního modelování dále zcela přirozeně vyplývá potřeba optimalizace systému s mnoha parametry. Vedle klasických metod se nabízí také metody evoluční (genetické algoritmy, diferenciální evoluce).

2.3. Virtuální prototyp

Virtuální prototyp (VP) je zobecněním komplexního modelu popsaného v předchozí části. Už ze slov tvořících jeho název vyplývá, že VP by měl mít v určité podstatné oblasti vlastností chování podobné reálnému prototypu.

VP tedy musí popisovat podstatné dynamické vlastnosti soustavy a to také vzhledem k okolí. Dále musí obsahovat řídicí systémy nižších i středních úrovní. Důležitou součástí VP je také vizualizace. Z tohoto pohledu hraje podstatnou roli i 3D CAD reprezentace i když ji podle našeho názoru nelze považovat za primární a nezbytnou (pro vyšetřování dynamiky mechanismu není nutné znát jeho přesný tvar, vystačíme s topologickým a geometrickým popisem a maticemi setrvačnosti).

Dodejme ještě, že obecně chápaný VP zahrnuje také výrobní technologii, virtuální montáž apod., kterými se ale zabývat nebudeme.

3. Efektivní přístup k návrhu mechatronické soustavy

Efektivní cesta od zadání problému k reálnému fungujícímu prototypu vyžaduje, jak jsme se již zmínili, podporu počítačového modelování. Efektivní počítačové modelování pak sestává z vhodné kombinace a posloupnosti použití výše popsaných typů modelů.

Při posuzování obecných vlastností modelu ve vztahu k jeho použití je nutno brát ohled na:

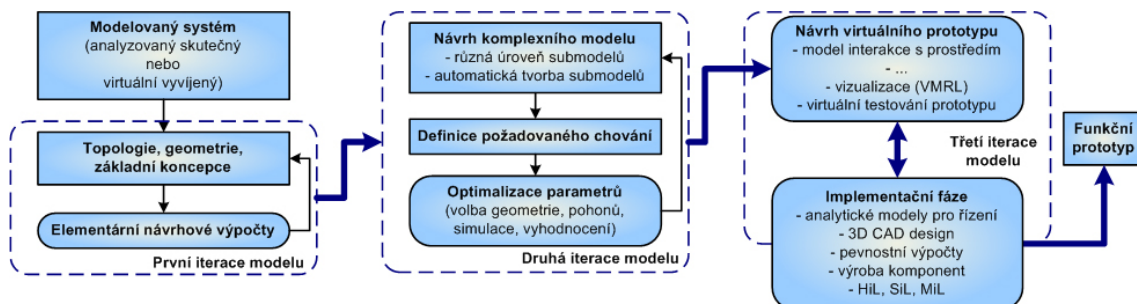
náročnost tvorby modelu – obecně platí, že čím přesnější a složitější model chceme získat, tím obtížnější je jeho sestavení a především identifikace jeho parametrů

výpočetní náročnost modelu – zajímá nás u aplikací, které musí pracovat v reálném čase nebo u velmi rozsáhlých simulačních modelů

soulad výpovědi modelu s realitou – vysoce problematická oblast, zdálo by se, že tato vlastnost je nepřímo úměrná náročnosti tvorby modelu a jeho výpočetní náročnosti, ale nemusí tomu tak být vždy

Je zřejmé, že pro různé fáze návrhu konečného reálného prototypu budeme volit rozdílné modely, tak aby byl celý proces maximálně efektivní. Na obr. 1 je uvedeno schéma možného způsobu efektivního počítačového návrhu od zadání základních požadavků po oživení prototypu.

Jednotlivé bloky schématu (iterace modelu) přibližně odpovídají charakteru modelů popsaných v části 2.



Obr. 1: Postup návrhu mechatronické soustavy s podporou počítačového modelování)

První iterace je charakterizována koncepčními úvahami a ověřovacími hrubými výpočty. Výstupem je jasná topologie, geometrie a koncepce soustavy.

V druhé iteraci provádíme na základě vytvořeného komplexního modelu víceparametrickou optimalizaci. Použité modely mohou být výpočetně relativně náročné (výhodný poměr mezi dobou návrhu a výsledky).

V třetí iteraci charakterizované použitím VP a postupným přechodem od VP přes hybridní prototyping k reálnému prototypu. Počítačové modely je postupně nutno upravovat tak, aby vyhovovaly požadavku řízení v reálném čase. Postupně se zapojují komponenty HiL, MiL, SiL.

Pokud při návrhu soustavy rámcově respektujeme uvedenou filosofii, zvýšíme, podle našeho názoru, účinnost celého procesu návrhu. Vyvarujeme se např. zdlouhavé a náročné tvorby rychlých analytických kinematických modelů pro řízení s použitím topologie, která se později ukáže býti nepoužitelnou.

Je samozřejmé, že nepředpokládáme ideální průběh návrhového procesu, vždy dojde vlivem nepředpokládaných vlastností některých komponent k nepřesnostem, někdy je nutno se vracet k předchozí iteraci, změnit koncepci soustavy apod. Snahou by ale měla být konvergence k popsanému ideálnímu procesu.

4. Příklady realizací

Způsob použití počítačového modelování jako nástroje inženýra tak jak je popsán v tomto příspěvku byl použit při návrhu dvou experimentálních laboratorních mobilních robotů. Oba projekty mají společné tyto znaky:

- velmi krátká doba realizace (v řádu měsíců)
- oba projekty jsou výsledkem výzkumných programů, do kterých byly zapojeni i studenti
- shodná koncepce robotů, tj. pohon realizován RC servopohony, konstrukce vyrobena z obroběných duralových profilů, masivní nasazení počítačového modelování jako podpory návrhu

Jedná se o tyto projekty:

Mobilní čtyřnohý chodící robot Jaromír – 12 stupňů volnosti, nesený zdroj energie, chůze po rovině řízena neuronovou sítí, dálkové řízení z počítače.

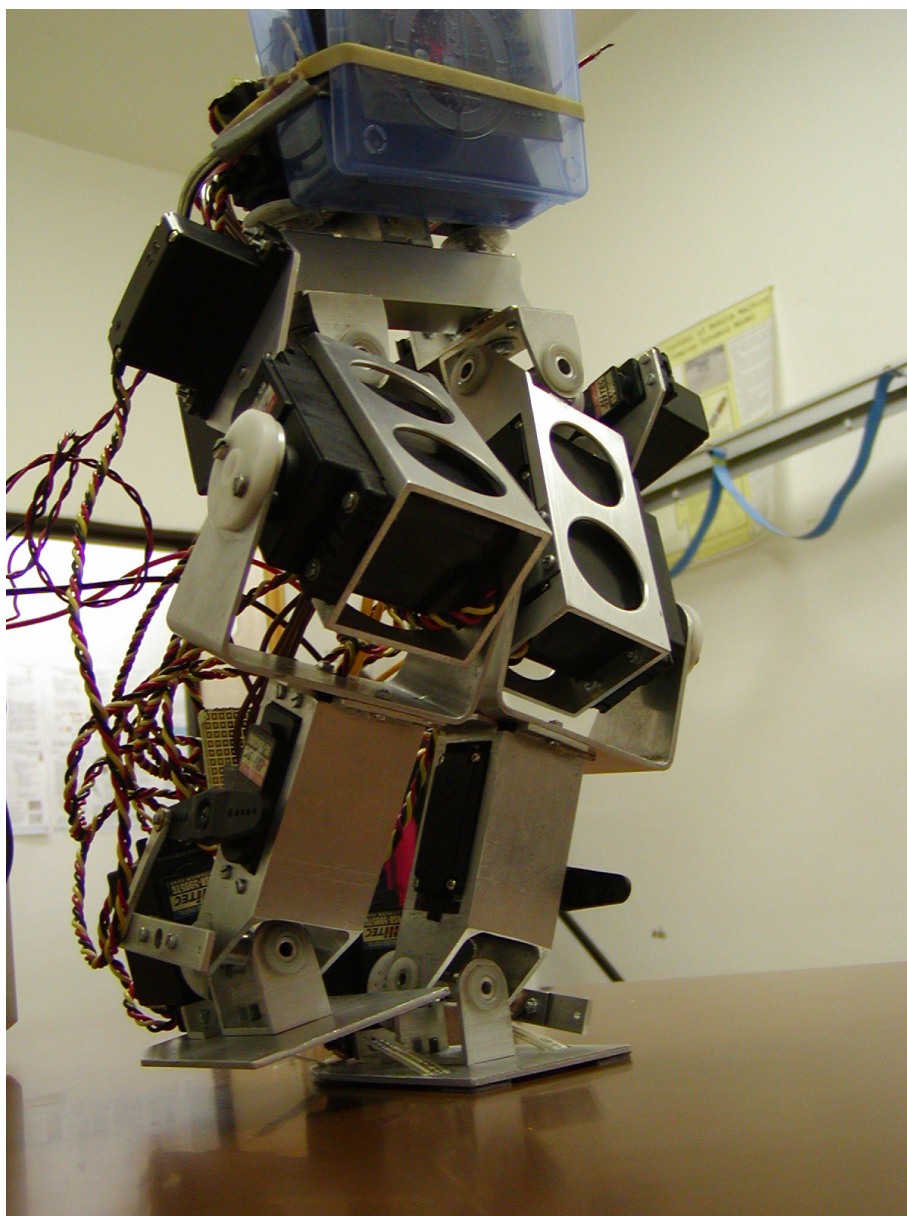
Dvounohý robot Golem 2 – 12 stupňů volnosti, použity digitálně řízené servopohony, řídicí elektronika ve stádiu vývoje

Více informací o obou projektech lze najít na webovských stránkách

<http://www.umat.fme.vutbr.cz/~rgrepl/>.



Obr. 2: Experimentální robot Jaromír



Obr. 3: Experimentální robot Golem 2

5. Závěr

V článku jsme stručně popsali efektivní způsob použití počítačových modelů jako podpory inženýrských rozhodnutí konstruktéra. Důležité je především rozlišení vhodného konkrétního typu modelu z hlediska doby jeho návrhu, výpočetní rychlosti a věrohodnosti výsledků. Každá z kategorií modelování (základní úloha, komplexní model, virtuální prototyp) má své místo v procesu návrhu mechatronické soustavy. Optimální proces modelování vyžaduje vhodné načasování implementace konkrétního typu modelu.

Poděkování

Tento příspěvek byl vytvořen za podpory projektu GAČR 101/06/P108 „Výzkum simulačního a experimentálního modelování dynamiky mobilních kráčejících robotů“.

Reference

- [1] Grepl R., Kratochvíl C.: *Conception of Robot-Environment Simulating Modelling*, Proceedings of the 5th Polish-German Mechatronic Workshop "Trends in Mechatronics", Serock, Poland, June 16-17, 2005, p. 61-66 (ISBN 83-905409-3-2))
- [2] *Modelling of Kinematics of Biped Robot: Dynamics of machines 2006, Prague, 2006,*
- [3] Grepl, R.: *Využití nástrojů Matlab, Simulink a SimMechanics při návrhu a optimalizaci mobilních kráčejících robotů*, International Conference Technical Computing, Prague, ISBN 80-7080-577-3, 2005