

Modelovanie mechatronickej sústavy vo fáze abstraktného návrhu

Alexander Gmitterko, Maroš Kordiak

Abstrakt

Jednou z významných črt mechatronických výrobkov je ich zložitá logická správa. Modelovanie logického správania je preto v mechatronike veľmi dôležité a predstavuje hlavný cieľ vo fáze abstraktného návrhu mechatronických sústav. V článku je uvedený náčrt metód, ktoré uľahčujú vytváranie opisu logickej štruktúry a logického správania mechatronickej sústavy. Je tu ukázané aj využitie jazykov UML a SDL a diagramov MSC v tejto fáze konštrukčného procesu.

Kľúčové slová: mechatronická sústava, abstraktný návrh, jazyk UML, jazyk SDL, diagram MSC

Úvod

Z hľadiska konštrukčného procesu na mechatronickú sústavu v prvom priblížení existujú dva hlavné pohľady: abstraktný a konkrétny [1]. Toto hrubé rozdelenie vyplýva z nasledovných skutočností:

1. Kľúčovým bodom v mechatronike je prechod od štruktúry cieľových funkcií k orgánovej štruktúre tzv. priradovanie technológií [2],[3],[5]. Priradovanie technológií znamená, že mechatronickú sústavu na úrovni opisu cieľových funkcií chápeme ako technickú sústavu, ktorá nie je založená na konkrétnej technológii ale na niečom čo je abstraktnejšie a na základe toho je umožnený proces priradovania technológií.
2. Multidisciplinárna mechatronika vyžaduje, že žiadna disciplína by nemala byť dominantná.
3. Narastajúca zložitosť správania mechatronických výrobkov si vyžaduje používanie formálnych jazykov kvôli ľahšiemu opisu komplikovaného správania a tiež pre lepšiu komunikáciu v tíme zloženom z odborníkov rôznych profesií.

Z týchto bodov vyplýva, že abstraktný pohľad je možné charakterizovať ako pohľad v ktorom je ponechaná možnosť na voľbu technológií a na jeho základe môžeme tiež pochopiť správanie mechatronickej sústavy ako aj danú problémovú oblasť. Konkrétny pohľad je taký v ktorom je už vykonaná voľba technológií. Konštrukčný proces tak môžeme rozdeliť na časť abstraktnú a časť konkrétnu. Abstraktná časť ďalej obsahuje dve subaktivity a to: počiatočnú analýzu v ktorej sa analyzuje problémová oblasť a abstraktný návrh. Vo fáze abstraktného návrhu sa definujú logická štruktúra a logické správanie budúcej mechatronickej sústavy, ktoré musia vyhovovať funkčným požiadavkám užívateľa. V rámci tohto článku sa budeme venovať problematike abstraktného návrhu.

1. Logická štruktúra mechatronickej sústavy

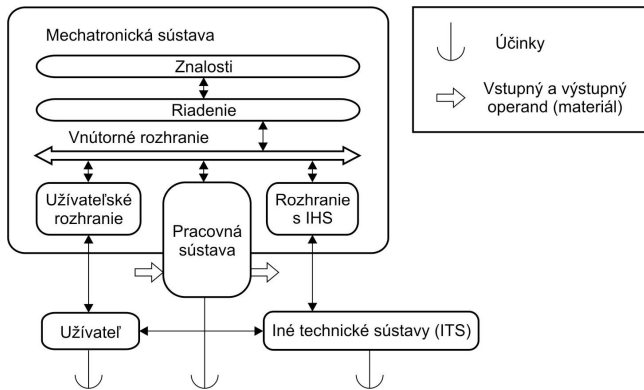
Konštruktéri bez ohľadu na svoju profesiu strávia mnoho času nachádzaním prijateľnej štruktúry navrhovanej technickej sústavy. Z toho dôvodu sa vytvárajú referenčné modely, ktoré značne uľahčujú konštrukčný proces a súčasne šetria čas.

V našom prípade využijeme referenčný model navrhnutý Hildrem [1] (obr. 1). Tento model bol vytvorený na základe objektovo orientovaného prístupu a obsahuje tieto hlavné časti:

1. Riadiacu časť – obsluhuje ostatné časti mechatronickej sústavy.
2. Znalostnú časť – reprezentuje vnútorné a vonkajšie objekty mechatronickej sústavy o ktorých existencií mechatronická sústava vie.
3. Pracovná sústava – je zodpovedná za mechanické transformácie a obsahuje akčné členy, snímače a mechanizmy.
4. Užívateľské rozhranie (interface) – zabezpečuje interakciu medzi užívateľom a mechatronickou sústavou.
5. Rozhranie s inou technickou sústavou - zabezpečuje interakciu medzi inou technickou sústavou a mechatronickou sústavou.

Kritérium pre vytvorenie tohto referenčného modelu bolo stanovené tak, aby sa s jednotlivými časťami modelu dalo pracovať relatívne nezávisle.

Tým je potom možná modifikácia vyššie uvedených častí mechatronickej sústavy bez ovplyvnenia ostatných častí. Táto požiadavka predstavuje dôležitý koncept objektovo orientovaného prístupu.



Obr.1 Referenčný model mechatronickej sústavy
Fig.1 A Reference model for mechatronic system

K výhodám referenčného modelu patria:

1. Ľahšie dosiahnutie konzistencie medzi rôznymi technológiami integrovanými v mechatronike.
2. Identifikácia dôležitých problémových oblastí.
3. dosiahnutie modularizácie na základe identifikácie nezávislých častí a rozhraní.

Termín obsluha použitý pri vymedzení riadiacej časti referenčného modelu predstavuje všeobecný termín indikujúci služby, ktoré riadiaca časť poskytuje ostatným častiam mechatronickej sústavy a jej okoliu. Tieto služby môžu byť napr. riadenie, koordinácia alebo iba prenos signálov. Referenčný model zjednodušuje štruktúrovanie mechatronickej sústavy v konštrukčnom procese. No i napriek tomu je dôležité mať metódu, ktorá uľahčuje vymedzovanie jednotlivých častí mechatronickej sústavy.

V nasledujúcej časti budú uvedené metódy, ktoré môžu byť nápomocné pri identifikácii logickej štruktúry. Najskôr si ešte zafinujeme niektoré termíny.

- Objekty okolia – objekty, ktoré sa nachádzajú v okolí mechatronickej sústavy.
- Aktívne objekty mechatronickej sústavy – objekty mechatronickej sústavy, ktoré vykonávajú nejakú úlohu alebo dodávajú účinky na vykonanie akcie.
- Pasívne objekty mechatronickej sústavy – objekty, ktoré reprezentujú niečo o čom mechatronická sústava potrebuje vedieť.
- Aktívne objekty okolia mechatronickej sústavy – objekty, ktoré priamo interagujú s mechatronickou sústavou.
- Pasívne objekty okolia mechatronickej sústavy – objekty o ktorých mechatronická sústava vie ale nekomunikuje s nimi.

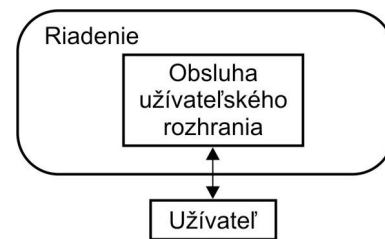
Pre aktívne objekty mechatronickej sústavy alebo okolia mechatronickej sústavy je možné tiež použiť termín aktér.

1.1 Identifikácia objektov okolia mechatronickej sústavy a ich zobrazenie do logickej štruktúry

Objekty okolia mechatronickej sústavy sú buď aktívne alebo pasívne. Aktívne objekty mechatronickej sústavy sú objekty, ktoré priamo komunikujú s mechatronickou sústavou. Pasívne objekty sú tie o ktorých mechatronická sústava vie ale s nimi nekomunikuje. V prípade pračky je aktívnym objektom užívateľ a pasívnym objektom je voda.

Návrh logickej štruktúry mechatronickej sústavy začína identifikáciou objektov, ktoré reagujú na aktérov okolia. Títo aktéri sa potom zobrazia do riadiacej časti mechatronickej

sústavy ako objekty, ktoré poskytujú obsluhu aktérom z okolia. Tento typ aktívnych objektov mechatronickej sústavy nazývame obslužné (servisné) objekty. Na obr. 2 je tento krok znázornený pre náš prípad s pračkou.



Obr.2 Zobrazenie aktívnych objektov okolia do riadiacej časti v prípade pračky
Fig.2 Mapping the active environment objects into the control part in the case of the washing machine

1.2 Identifikácia aktérov v mechatronickej sústave

Aktérov v mechatronickej sústave je možné rozdeliť do troch kategórií:

1. Aktéri, ktorí zodpovedajú za vykonávanie mechanických úloh.
2. Aktéri, ktorí poskytujú služby aktérom z okolia (hovorili sme o nich v časti 1.1).
3. Aktéri, ktorí poskytujú služby iným objektom mechatronickej sústavy.

Mechanický aktéri transformujú materiál z jedného stavu do iného stavu. To znamená, že budú reprezentované mechanickými orgánmi a budú umiestnené v pracovnej časti mechatronickej sústavy. Môžeme ich zistiť na základe odpovedí napr. na tieto otázky:

1. Čo musí mechatronická sústava vykonať mechanicky.
2. Ktoré funkcie v mechatronickej sústave si vyžadujú mechanické riešenia.

Podotýkame, že určitá časť pracovnej sústavy musí byť realizovaná mechanicky. Ostatné časti mechatronickej sústavy môžu byť mechanické, elektrické alebo softvérové.

V prípade pračky môžeme identifikovať potrebu pre tieto objekty v pracovnej sústave:

1. Jednotka prívod/odtok vody
2. Jednotka pre otáčanie bubna
3. Jednotka zámku veka

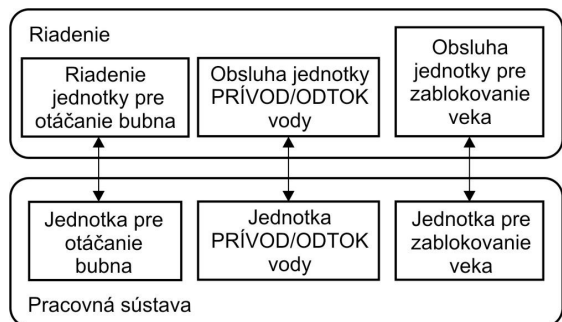
Tieto identifikované mechanické objekty pračky sú znázornené na obr. 3.



Obr.3 Identifikované mechanické objekty pračky
Fig.3 Identified mechanical objects in the washing machine

Mechanický objekt nachádzajúci sa v pracovnej sústave je obvyčajne riadený objektom, ktorý nie je súčasťou pracovnej sústavy. Podobne ako v časti 1.1 využívame princíp zobrazenia a hľadáme odpovedajúce obslužné objekty

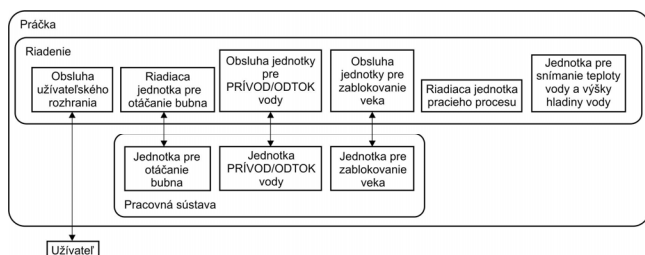
v riadiacej časti. Ilustrácia princípu zobrazenia pre pračku je znázornená na obr. 4.



Obr.4 Zobrazenie mechanických objektov pracovnej sústavy do riadiacej časti v prípade pračky

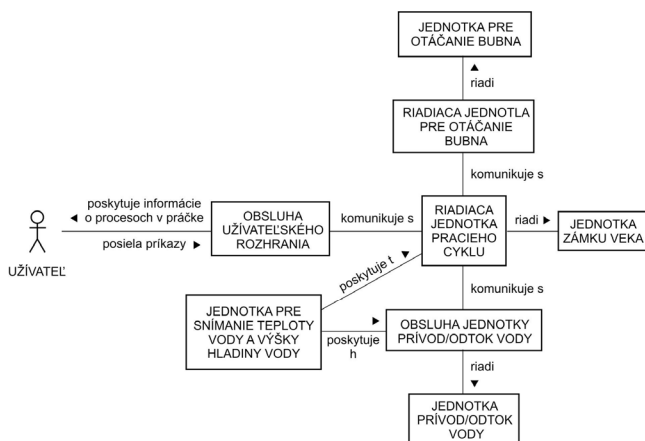
Fig.4 Mapping the mechanical objects of the working system into the control part in the case of the washing machine

Okrem doposiaľ identifikovaných objektov mechatronická sústava môže potrebovať ešte ďalšie obslužné objekty potrebné na vykonanie požadovaných úloh. V takomto prípade zistíme či tieto riadiace procesy môžu byť vykonané objektmi, ktoré už máme identifikované. Ak je tak skončíme ak nie zavedieme nový objekt do riadiacej časti alebo do znalostnej časti.



Obr.5 Výsledná logická štruktúra pračky

Fig.5 The final logical structure of the washing machine



Obr.6 Výsledná logická štruktúra pračky znázornená využitím jazyka UML

Fig.6 The final logical structure of the washing machine depicted by using UML language

V prípade pračky sú dodatočne identifikovanými objektmi riadiaca jednotka pracieho cyklu a jednotka pre snímanie teploty vody a výšky hladiny vody, pretože z doterajších objektov žiadny nevykonáva túto funkciu. Výsledná logická štruktúra pračky je znázornená na obr. 5. Pretože referenčný model je znázornený neformálnym opisom tak jeho interpretácia nie je výstižná a tak pomocou nej

nie je možné spracovať zložitejšie prípady. Preto je na znázornenie logickej štruktúry využitý jazyk UML (the Unified Modeling Language) [4] a výsledná logická štruktúra je znázornená na obr. 6.

Užívateľ posíla príkazy pre pračku prostredníctvom objektu obsluha užívateľského rozhrania, ktorá tieto príkazy posíla ďalej do riadiacej jednotky pracieho cyklu. Táto riadiaca jednotka komunikuje s riadiacou jednotkou pre otáčanie bubna a s objektom obsluha jednotky prívod/odtok vody a priamo riadi jednotku zámku veka. Jednotka pre snímanie teploty vody a výšky hladiny vody poskytuje informáciu o teplote vody riadiacej jednotke pracieho cyklu pre účely regulácie teploty vody a tiež posíla informáciu o výške hladiny vody objektu obsluha jednotky prívod/odtok vody za účelom kontroly stavu hladiny vody.

2. Logické správanie mechatronickej sústavy

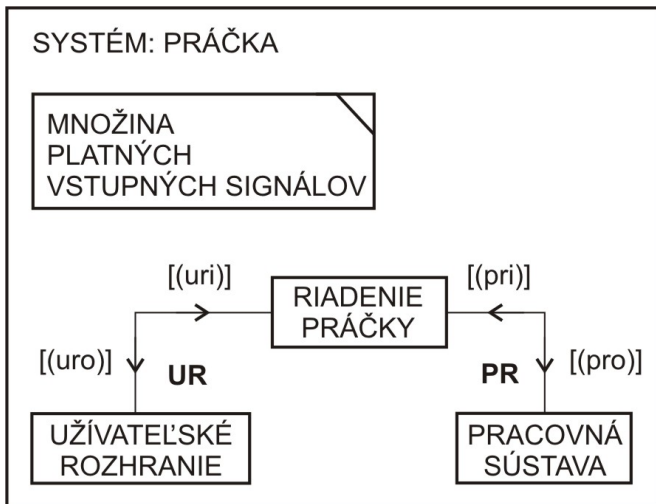
Statická štruktúra mechatronickej sústavy opisuje objekty obsiahnuté v mechatronickej sústave a ich vzájomné vzťahy. Neopisuje ale ako tieto objekty kooperujú aby sa dosiahla hlavná účelová funkcia mechatronickej sústavy. Tento pohľad na mechatronickej sústavu je možné vyjadriť pomocou logickeho správania. Logicke správanie mechatronickej sústavy je definované správaním objektov tvoriacich jeho logicke štruktúru. Na reprezentáciu logickeho správania mechatronickej sústavy využijeme jazyk SDL (the Specification and Description Language) a diagramy MSC (Message Sequence Charts). Výsledky opisu logickeho správania slúžia:

1. K dosiahnutiu presnej komunikácie o logicom správaní mechatronickej sústavy.
2. K posúdeniu správania mechatronickej sústavy na základe analýzy a simulácie prv ako bude mechatronickej sústava realizovaná.
3. Ako začiatkový bod pre voľbu technológií (mechanika, elektronika, softvér) a k návrhu optimálnej realizácie.
4. Na dokumentáciu logickeho správania realizovanej mechatronickej sústavy.

2.1 Opis logickeho správania využitím jazyka SDL

Aby sme mohli použiť jazyk SDL na opis logickeho správania mechatronickej sústavy musíme transformovať referenčný model logickej štruktúry na úroveň systém v jazyku SDL. Táto úroveň je reprezentovaná štruktúrou blokov spojených kanálmi za účelom komunikácie. Okrem toho sa v tejto schéme vyznačujú aj kanály, ktoré spájajú mechatronickej sústavu s okolím. Na obr. 7 je znázornená schéma pračky využitím notácie jazyka SDL. Mena kanálov spájajúcich bloky sú zvýraznené tučným písmom. Signály, ktoré sú prenášané kanálmi alebo signálovými cestami sú napísané v obľuhých zátvorkách a uzavreté v hranatých zátvorkách. Písmena „i“ a „o“, ktoré sú pridané k menám signálov označujú vstupnú a výstupnú stranu kanála. Podotýkame, že voľba názvov a smerov môže byť ľubovoľná. Na obr. 7 sú smery vstupov zvolené smerom do riadiacej časti.

Cieľom návrhu logickeho správania je celkový opis logickeho správania mechatronickej sústavy. Tento cieľ sa však nedá dosiahnuť na úrovni systém. Preto sa správanie mechatronickej sústavy opisuje správaním v nej obsiahnutých blokov a spôsobom ich vzájomnej komunikácie medzi nimi a okolím. Odporúča sa začať túto úlohu vyšetovaním interakčných vlastností objektov tvoriacich logicke štruktúru mechatronickej sústavy.



Obr.7 Zobrazenie pračky na hierarchickej úrovni systém v jazyku SDL

Fig.7 The washing machine representation at the SDL system level

2.2 Opis interakčných vlastností objektov tvoriacich mechatrickú sústavu

Na opis sekvencie interakcií, ktoré prebiehajú medzi objektami mechatrickej sústavy použijeme diagramy MSC. Tieto diagramy umožňujú predovšetkým prehľadne graficky zobraziť časovú postupnosť udalostí, ktoré by sa mali v mechatrickej sústave vyskytnúť. Podotýkame, že tieto interakcie môžu byť vo forme materiálu, energie a informácie. Počas návrhu mechatrickej sústavy sú diagramy MSC užitočné z týchto dôvodov:

1. Umožňujú modelovať zložitejšie prípady logického správania.
2. Pretože sú ľahko pochopiteľné sú vhodné pre účely komunikácie a pre analýzu logického správania.
3. Môžu sa použiť aj ako plány na testovanie vo fáze testovania mechatrickej sústavy.

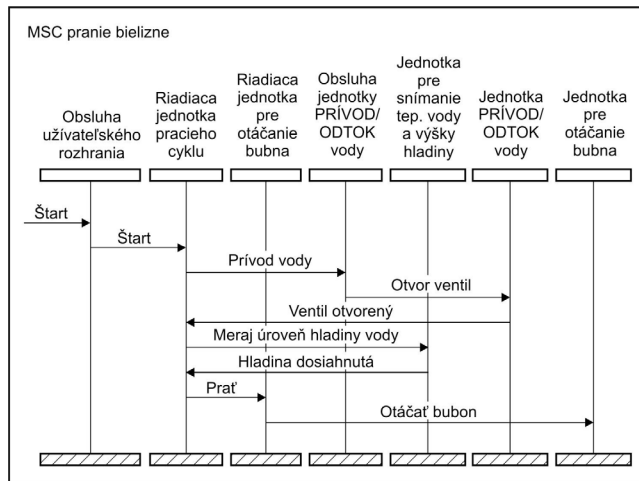
Obr. 8. znázorňuje interakcie medzi objektmi pračky v režime pranie. Objekty uvedené v MSC diagrame boli identifikované počas návrhu logickej štruktúry.

Môže sa stať, že počas návrhu logického správania vznikne potreba pre jeden alebo viacej dodatočných objektov. V tomto prípade je potrebné modifikovať jeho logickú štruktúru.

Keď pračka prijme signál „start“ od užívateľa posielá signál do riadiacej jednotky pracieho procesu, ktorá následne posielá signál „prívod vody“ do objektu obsluha jednotky prívod/odtok vody a ta zase signál „otvor ventil“ do jednotky prívod/odtok vody. Po otvorení ventilu jednotka prívod/odtok vody posielá do riadiacej jednotky signál „ventil otvorený“. Ďalší priebeh interakcie medzi objektami je zrejмый z obr. 8.

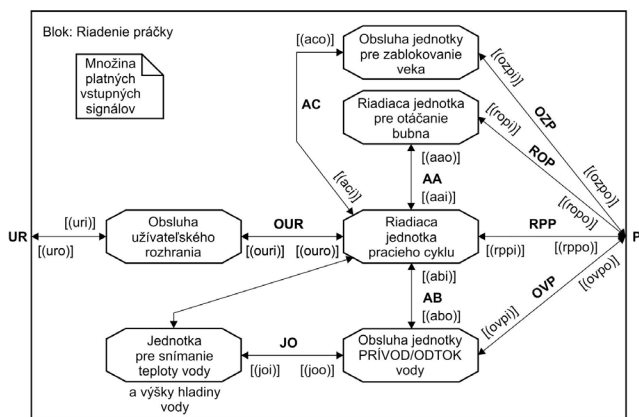
Iní konštruktéri môžu samozrejme navrhnuť inú sekvenciu signálov tak ako môžu preferovať aj inú množinu objektov v danej mechatrickej sústave.

Na obr. 9 je na hierarchickej úrovni blok v jazyku SDL znázornená riadiaca časť pračky. Táto schéma obsahuje 6 procesov, ktoré sú spojené navzájom alebo s okolím bloku pomocou signálových ciest. Kanály spojujúce bloky sú znázornené na rámečku bloku. Signálové cesty sú znázornené tučným písmom. Zoznam signálov je vyznačený na konci každej signálovej cesty.



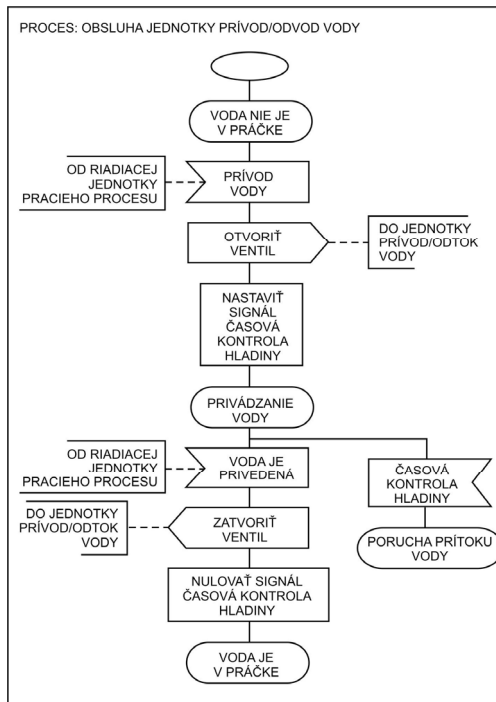
Obr.8 Diagram MSC opisujúci interakcie medzi objektmi pračky v režime pranie

Fig.8 A MSC diagram describing washing mode



Obr.9 Znáznornenie bloku riadenie pračky v jazyku SDL

Fig.9 SDL description of the washing machine control part



Obr.10 Znáznornenie časti procesu jednotky prívod/odtok vody v jazyku SDL

Fig.10 SDL description of the process segment water supply/outlet unit

Až doposiaľ sme sa zameriavali na správanie rozhraní (interfaces) objektov. Vnútorne správanie jednotlivých objektov sa v jazyku SDL dosahuje na hierarchickej úrovni proces. Správanie všetkých procesov nachádzajúcich sa v mechatronickej sústave vytvára celkové správanie mechatronickej sústavy. V jazyku SDL má úroveň proces vlastné grafické symboly používané na prezentáciu procesu. Na obr. 10 je znázornená časť procesu obsluha jednotky prívod/odtok vody.

Na začiatku je proces obsluha jednotky prívod/odtok vody v stave „voda nie je v pračke“ a čaká na signál „prívod vody“ od riadiacej jednotky pracieho procesu. Ak je tento signál prijatý tak proces reaguje signálom „otvoriť ventil, ktorý sa posielá do jednotky prívod/odtok vody a následne sa v časovači nastaví signál „časová kontrola hladiny“. Potom proces prechádza do stavu „privádzanie vody“. Z tohto stavu sú možné dve alternatívy na prechod do nového stavu. Závisí to od toho, ktorý zo signálov „voda je privedená“ a „časová kontrola hladiny“ príde skôr. Ak najskôr príde prvý z nich proces prechádza do stavu „voda je v pračke“ v opačnom prípade je prechod do stavu „porucha prívodu vody“ (v prívode vody je porucha, pretože sa v stanovenom časovom intervale pračka nenaplnila vodou na požadovanú úroveň hladiny).

Záver

Keď všetky bloky a procesy v jazyku SDL sú definované je možné vykonať analýzu a simuláciu mechatronickej sústavy. Všimnite si, že model logického správania v jazyku SDL je v tejto fáze technologicky nezávislý. Ešte sme sa nerozhodli ako budeme realizovať rozličné časti mechatronickej sústavy (mechanika, elektronika, softvér). Čo máme je model, ktorý nám umožní zabezpečiť logické správanie podľa požiadaviek užívateľa (zákazníkov). A tak má predpoklady dosiahnuť vysokú predajnú hodnotu. Okrem toho je tu skutočnosť, že to môžeme vykonať bez nákladnej fyzikálnej realizácie. Pomocou vytvorených schém je možné vykonať simuláciu logického správania a to buď na počítači alebo manuálne a tak vykonať kontrolu logického správania mechatronickej sústavy. Schémy je tiež možné využiť na komunikáciu v tíme zloženom z odborníkov rôznych profesií.

Ak správnosť logického správania je preukázaná začína sa uvažovať o realizácii mechatronickej sústavy. V nej musíme vyšetriť ako cenovo efektívnym a inovatívnym spôsobom realizovať mechatronicke sústavu. Avšak okamžitý prechod do tejto fáze nie je efektívny pretože:

1. Je ťažko získať priame zobrazenie medzi logickými objektmi a fyzikálnymi objektmi.
2. Je ťažko vykonať voľbu technológií.
3. Nedokážeme uvažovať o všetkých možných riešeniach čím sa znižuje pravdepodobnosť najdenia optimálneho a cenovo efektívneho riešenia.

Z toho dôvodu je na premostenie prechodu z fáze abstraktného návrhu do konkrétnej fáze zavedená aktivita principiálneho návrhu.

Podakovanie

Autor týmto ďakuje Slovenskej grantovej agentúre pre vedu GU VEGA 1/2188/05 „Výskum princípov lokomócie potrubného stroja v potrubí za účelom ťahania káblov do existujúcich potrubných sietí“ a GU VEGA 1/3078/06 „Špecifické aspekty merania koncentrácie tuhých znečisťujúcich látok v pracovnom prostredí pomocou optických metód a kalibrácie optických metód merania pomocou referenčných metód“ za čiastkovú podporu tejto práce.

Literatúra

- [1] Shakeri, A.: A methodology for development of mechatronics systems. NTNU Trondheim Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Rapport nr. 3: 1998. ISBN 82-471-0340-0.
- [2] Gmitterko, A.: Mechatronika. Hnacie factory, charakteristika a koncipovanie mechatronickej sústavy. Emilena tlačiareň, Košice 2004. ISBN 80-8073-157-8.
- [3] Buur, J.: A Theoretical Approach to Mechatronics Design. PhD Thesis. Institute for Engineering Design. Technical University of Denmark. Lyngby, Denmark, 1990.
- [4] Schmuller, J.: Myslíme v jazyku UML. Grada Publishing, spol, s.r.o., 2001. ISBN 80-247-0029-8.
- [5] Gawrysiak, M.: Mechatronika I projektowanie mechatroniczne. Politechnika Bialostocka, Rozprawy naukowe NR 44. Bialystok 1997. ISSN 0867-096X.

Abstract

One of the significant feature of mechatronics products is their complex logical behavior. Therefore, the logical behavior modelling is very important in the mechatronics and represents the main objective in the abstract design phase of the mechatronic product. The article is describing outline of the methods which facilitate the creation of the logical structure and the logical behavior descriptions. The utilization UML and SDL languages and MSC diagrams in this design process phase is shown here too..

prof. Ing. Alexander Gmitterko, PhD.
Ing. Maroš Kordiak

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra aplikovanej mechaniky a mechatroniky
Letná 9
042 00 Košice
e-mail: alexander.gmitterko@tuke.sk
maros.kordiak@tuke.sk