

ŘÍZENÍ LABORATORNÍHO MODELU V REÁLNÉM ČASE

František Dušek, Daniel Honc

Katedra řízení procesů a výpočetní techniky, FCHT, Univerzita Pardubice

Abstrakt

Spojení počítače s okolním prostředím vyžaduje kromě programového řešení také technickou realizaci připojení. Jednou z možností připojení v laboratorním prostředí je i akviziční karta MF614 navržená a dodávaná firmou HUMUSOFT. Tato karta byla speciálně navržena tak, aby dovolovala připojení více druhů signálů. Kromě standardních analogových a dvouhodnotových signálů umožňuje i zpracování a generování frekvenčních a pulsních signálů. Právě méně obvyklá možnost generování pulsů proměnné šířky byla využita pro ovládání modelářského serva. Článek popisuje realizaci řízení poměrně rychlé pneumatické soustavy v SIMULINKu (Real Time Tbx + MF614), kde akčním členem je modelářským servem ovládaný ventil.

Úvod

Při výuce řízení procesů je velká část teorie věnovaná různým metodám návrhu algoritmů řízení určených pro implementaci do programového vybavení řídicího počítače. Na tuto část by mělo navazovat i praktické ověření tj. realizace řízení v reálném čase. Do úvahy připadá samozřejmě pouze ukázka v laboratorních podmínkách, ale ani to není jednoduchou záležitostí, protože je nutné řešit tři skupiny praktických problémů

- a) řízená soustava – fyzický model (vhodná struktura a vlastnosti sledovaných veličin z hlediska použitých principů řízení, pořizovací cena, provozní náročnost jak z hlediska ceny tak obsluhy, bezpečnost, ekologické požadavky atd.)
- b) měření a ovládání vybraných veličin, připojení k počítači (čidla, akční členy, signály, převod do digitální formy atd.)
- c) programové řešení (dodržení časových požadavků - reálný čas, ovladače pro použitý hardware, vizualizace, zahrnutí vlastních algoritmů atd.).

Volba a fyzikální realizace řízené soustavy (modelu) závisí obvykle na zaměření a možnostech daného pracoviště. Dále je nutné model doplnit o měření a ovládání vybraných veličin tj. o instrumentaci – čidla, akční členy a případné převodníky signálů. Výstupem z čidel či vstupem ovládacích členů by měly být unifikované signály. Tím se vytvoří standardní rozhraní dovolující použít různé varianty připojení k počítači. Jedna z nejjednodušších (nejlevnějších) možností připojení je pomocí karty (adaptéru) umístěné ve sběrnici počítače, na kterou lze přivést přímo unifikované signály. Tento adaptér umožňující obvykle použít více druhů unifikovaných signálů se označuje jako akviziční karta.

Mnohá čidla a akční členy pracují s jinými než s běžnými spojitými analogovými signály či dvouhodnotovými vstupy/výstupy. Např. mnoho průtokoměrů generuje pulsy jejichž počet je úměrný protékajícímu množství nebo se pro měření otáček používají IRC čidla generující dvě sady vzájemně posunutých pulsů podle smyslu otáčení. V případě akčních členů může být příkladem ovládání SSR (Solid State Relay) spínající přímo výkonový signál na základě řídicího signálu ve formě šířkově modulovaných pulsů (PWM). Dovoluje-li akviziční karta tento typ signálů připojit, můžeme ušetřit komplikované převodníky na analogový signál. Pro laboratorní použití je vhodná taková karta, která dovoluje připojit co nejširší spektrum různých signálů.

Připojení k počítači a programové řešení je možné také řešit využitím některého z průmyslových systémů se všemi výhodami a nevýhodami z toho plynoucími. Tyto systémy jsou obvykle pro laboratorní použití zbytečně složité a drahé. Problémy nastávají při připojení nestandardních signálů a v případě, že chceme firemní software rozšířit o vlastní algoritmy.

Pro použití ve výuce je základním požadavkem jednoduchá programová realizace teoretického řešení. Běžně využívaným prostředkem ve výuce teorie řízení je dnes MATLAB [Dušek 2002]. To znamená, že studenti jsou s prací v tomto prostředí seznámeni a realizace teoretického řešení v MATLABu ať už

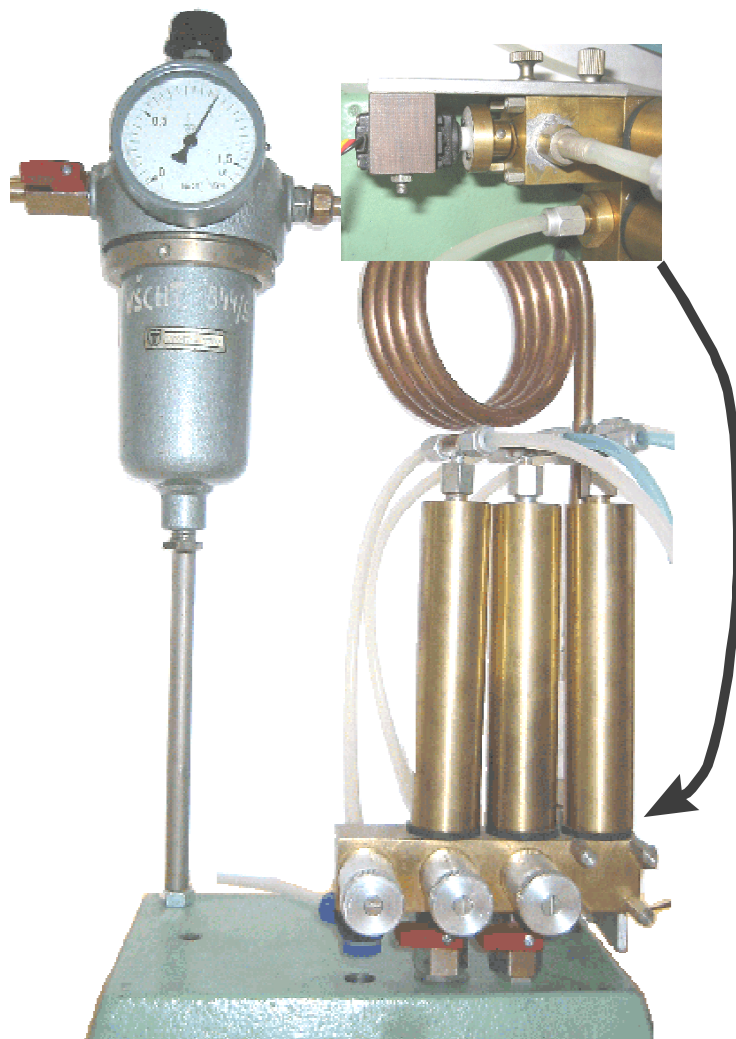
formou jednorázových výpočtů či simulací je víceméně standardní součástí výuky. Rozšíření o Real Time Toolbox řeší problém reálného času a softwarové obsluhy akviziční karty ve Windows. Autoři tohoto článku zastávají názor, že toto řešení v kombinaci s multifunkční akviziční kartou je v současné době pravděpodobně nejlevnější a nejflexibilnější řešení realizace řízení laboratorních modelů v reálném čase pro potřeby výuky.

Dále je popsána realizace řízení laboratorního modelu v reálném čase, kde akčním členem je modelářské servo. Popis je zaměřen na technické řešení celé úlohy a složitější (výpočetně náročnější) princip řízení, který byl použit pro ověření funkčnosti i při krátkých intervalech vzorkování 100 ms.

Řízená soustava (model)

Laboratorní model (viz obr.1) je tvořen třemi válcovými nádržemi o průměru 25 mm a výšce 140 mm. Do první nádrže je z redukčního ventilu přiváděn tlakový vzduch přes modelářským servem ovládaný ventil (viz detail na obr.1). Tlak před tímto ventilem je první měřenou veličinou. Z první nádrže je vzduch přes ručně nastavitelný jehlový ventil veden do druhé nádrže. Další jehlové ventily jsou mezi druhou a třetí nádrží a výstupu z třetí nádrže do okolí. Prostor druhé a třetí nádrže lze s okolním prostředím spojit též dvěma ručně ovládanými kohouty. Tlaky v jednotlivých nádržích jsou měřeny měřnými veličinami. Kombinací nastavení kohoutů a ventilů lze zvolit soustavu s jednou až třemi kapacitami a dynamikou v rozsazích cca 2-10 s (doba do ustálení).

Model je doplněn 4 tlakovými čidly v provedení pro zabudování do tištěného spoje. Čidla převádějí přetlak 0-100 kPa vůči atmosféře na spojitý signál 0-10 V. Vstupní ventil je ovládán běžným modelářským servem. Požadovaný řídicí signál serva je ve tvaru pulsu se šířkou 0.9-2.1 ms ($\pm 60^\circ$) se středem při 1.5 ms. Opakovací frekvence by měla být 50 Hz. Při vyšší frekvenci silně narůstá spotřeba a servo vibruje, při nižší frekvenci není využita maximální rychlost přestavování (pro použité typ HITEC HS-322 0.19 s/60° při napájení 4.8 V). Pneumatickoelektrické převodníky a napájení serva jsou zabudovány do samostatné jednotky. Na modelu jsou měřeny 4 tlaky převedené na napětí a ovládán je jeden ventil s řídicím signálem ve tvaru pulsu s proměnnou šířkou.



Obrázek 1 Fotografie modelu s detailem ventilu se servem

Realizace připojení k PC

Připojení signálů k PC bylo realizováno pomocí multifunkční akviziční karty MF614 [Humusoft 2002], kterou dodává firma HUMUSOFT včetně ovladačů pro Real Time Toolbox. Karta MF614 je určena pro použití v PCI sběrnici. Původní model MF604 byl určen pro ISA sběrnici, která již na nových základních deskách není podporována. Základní parametry:

- osm multiplexovaných analogových vstupů s programově volitelným rozsahem $\pm 10V$, $\pm 5V$, 0-10V a 0-5V připojených na dvanáctibitový (0-4095) A/Č převodník s dobou převodu 10 μs

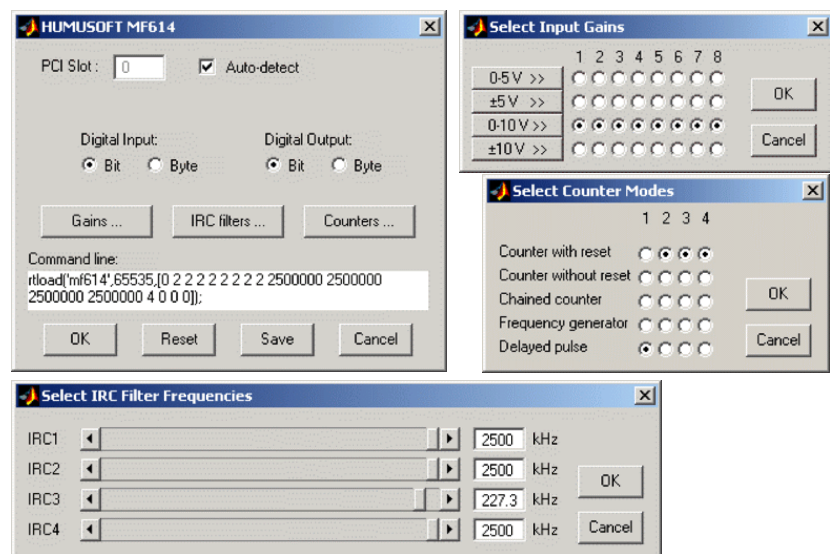
- čtyři dvanáctibitové (0-4095) Č/A převodníky s rozsahem $\pm 10V$, ustálení max. 10 μs
- osm dvouhodnotových vstupů (TTL)
- osm dvouhodnotových výstupů (TTL)
- dva dvojité programovatelné inkrementální čítače s rozlišením 24 bitů a frekvencí max. 2 MHz, s programově nastavitelnou filtrací šumu
- čtyři programovatelné čítače/časovače s rozlišením 16 bitů (kaskáda až 80 bitů) a frekvencí max. 20 MHz využitelné i pro generování periodických a zpožděných pulsů

Všechny připojovací signály byly vyvedeny na dvě univerzální svorkovnice TB620. Na svorkovnici jsou vyvedeny i napětí +5V, -12V a +12V, které lze za určitých omezení použít pro napájení připojených zařízení.

Programové řešení připojení

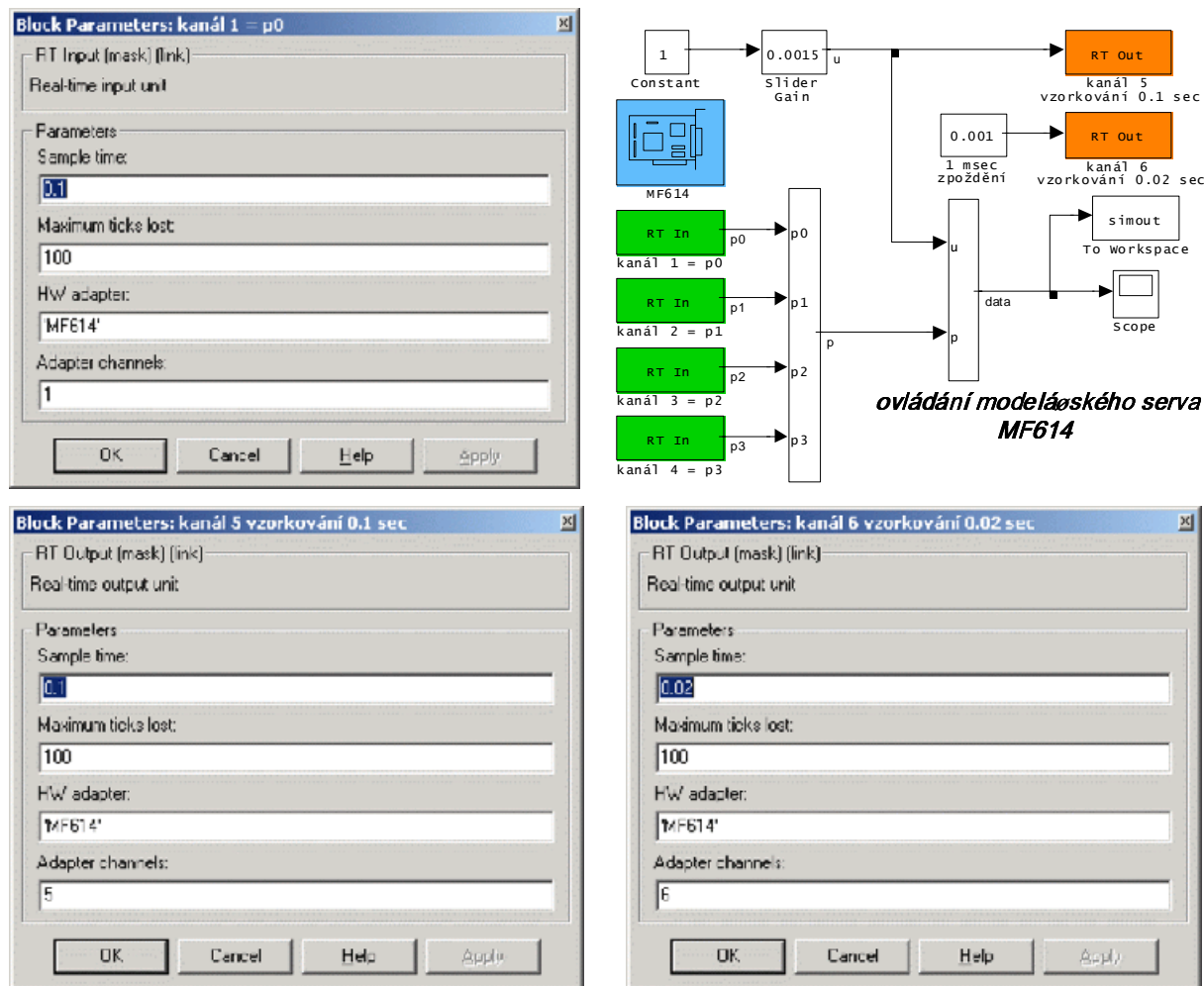
Základní problémy připojení tj. zajištění reálného času a obsluhu příslušného hardware ve Windows řeší Real Time Toolbox. Použit byl Extended RT Tbx ve verzi 3.11 (podpora PCI a PCMCIA karet, Windows 98 až Windows XP, MATLAB 6.5) dovolující pracovat se všemi funkcemi i v SIMULINKu [Humusoft 2003]. Zajímavou vlastností je možnost provádět standardní simulaci v reálném čase (pokud samozřejmě nepřekročí doba jednoho kroku výpočtu dobu odpovídající reálnému chování).

Z uživatelského hlediska je používání RT Tbx jednoduché. V dokumentaci ovladače karty je potřeba zjistit přiřazení vstupních a výstupních kanálů (čísla přiřazená jednotlivým fyzickým vstupním a výstupním signálům – samostatné číslování pro vstupy a výstupy). Čísla kanálů jsou potom jedním z parametrů bloků. Hodnoty všech spojitých signálů jsou transformovány ze nastaveného napěťového rozsahu do rozsahu ± 1 . Povinným parametrem většiny bloků je název adaptéru tj. název bloku inicializace ovladače použité karty. V této inicializaci (viz obr. 2) se nastavují volitelné parametry karty (vstupní rozsahy analogových vstupů a režim používání dvouhodnotových vstupů/výstupů, frekvence filtrů inkrementálních čítačů a volba režimů čítačů/časovačů atd.). Tyto volby mohou mít vliv na číslování kanálů a jejich význam. Např. režim *Delayed pulse* nastavený pro čítač 1 v dialogovém okně *Select Counter Modes* na obr. 2 způsobí, že parametry generování zpožděného pulsu jsou ovlivněny hodnotami zadanými na dvojici výstupních kanálů 5 a 6. Hodnota zapsaná na kanál 5 určuje šířku pulsu v sekundách a hodnota zapsaná na kanál 6 určuje zpoždění vzestupné hrany pulsu v sekundách od okamžiku zápisu do registru.



Obrázek 2 Inicializace karty MF614

Na obr. 3 je ukázka modelu SIMULINKu pro měření 4 napětí, ovládání serva, průběžné sledování měření a ukládání výsledků do proměnné v pracovním prostoru MATLABu. Na obrázku jsou zobrazena dialogová okna základních modulů *RT In* použitých pro periodické čtení analogových vstupů a *RT Out* pro periodickou aktualizaci výstupního signálu. Vlastnosti výstupního signálu jsou dány proměnnou hodnotou šířky pulsu (v tomto případě *Slider gain*), která je aktualizována s frekvencí 10 Hz (kanál 5, perioda *RT Out* = 0.1 s) a frekvencí zápisu na kanál 6 (perioda *RT Out* = 0.02 s). Konkrétní hodnota zpoždění nesmí v součtu s maximální dobou pulsu překročit periodu opakování generování pulsu.

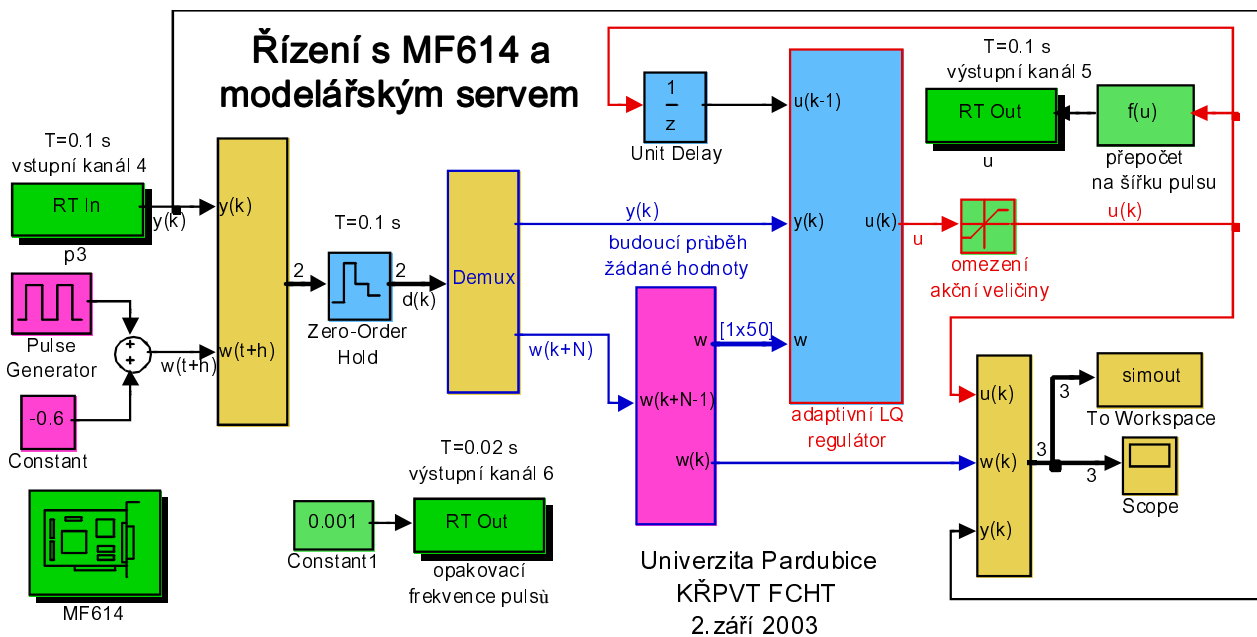


Obrázek 3 Měření a ovládání modelu

Řízení modelu

Laboratorní model představuje jednorozměrnou soustavu, kde regulovanou veličinou je tlak ve třetí nádrži převedený do rozsahu ± 1 a akční veličinou je otevření ventilu v rozsahu ± 1 (přepočtené na šířku pulsu 0.009-0.0021 s). Cílem řízení je sledovat známý průběh žádané hodnoty. Matematický model chování soustavy je předpokládán ve tvaru diferenciální rovnice 5. řádu a nelineární charakteristika ventilu není uvažována. Interval diskretního adaptivního řízení je zvolen 0.1 s. Regulace je prováděna pomocí diskretního LQ regulátoru s konečným horizontem řízení o délce 50 kroků. Deset parametrů diskretního modelu řízené soustavy je průběžně odhadováno standardní rekurentní metodou nejmenších čtverců s exponenciálním zapomináním. Také stav systému je průběžně odhadován pozorovatelem stavu – rekurentní Kalmánův filtr. Principy použitých algoritmů jsou např. v [Ogata 1994, Havlena 2000]. Blíže o konkrétních rovnicích a implementaci diskretních algoritmů v SIMULINKu viz [Honc 2002] a [Dušek 2003]. Řízení je realizováno na PC s procesorem AMD Athlon XP 1900, 512 MB DDR RAM, PCI akvizitní karta MF614, Windows 2000, MATLAB 6.5, SIMULINK 5.0 a RT Tbx 3.11.

Model v SIMULINKu realizující regulační experiment v reálném čase na fyzikálním modelu je na obr. 4. Způsob měření tlaku pomocí analogového signálu a generování signálu pro servo v podobě pulsů je popsán v předchozích kapitolách. Modul *Zero-Order Hold* zajišťuje definovanou periodu vzorkování regulované veličiny a žádané hodnoty (mohou být spojité či vzorkovány s jinou periodou) a volání výpočtu regulátoru (blok označený jako adaptivní LQ regulátor). Bloky označené zelenou barvou souvisí s měřením vstupních a ovládáním výstupních signálů. Modré bloky souvisí s regulací, fialová barva označuje bloky generování žádané hodnoty a žlutá barva pomocné bloky.



Obrázek 4 Řízení s kartou MF614

Závěr

Výše uvedený příklad řízení laboratorního modelu ukazuje jednu z možností jak realizovat použití řídicích algoritmů ve výuce. Zároveň je ukázána možnost použití netradičních typů signálů při řízení. V neposlední řadě je ukázáno, že lze na současných počítačích používat výpočetně náročné algoritmy pro řízení značně rychlých soustav (vzorkování 100 ms) v reálném čase.

Tato práce byla částečně podporována grantem GA ČR No. 102/03/0625.

Literatura

Ogata, K. (1994). *Discrete-Time Control Systems*. Prentice Hall. New Jersey. ISBN 0-13-034281-5

Havlena, V., Štecha, J. (2000). *Moderní teorie řízení*. [skriptum] ČVUT Praha 2000

Dušek, F. (2002). *MATLAB a SIMULINK úvod do používání*. Druhé rozšířené vydání. [skriptum] Pardubice 2002, ISBN 80-7194-475-0

Honc, D.; Dušek, F. (2002). *Maticové operace v SIMULINKu verze 4*. In: 10. Konference MATLAB 2002, 11.10. 2002, Kongresové centrum ČVUT, Praha, s. 152-161, ISBN 80-7080-500-5

MF 614 Multifunction I/O Card User's Manual. **Humusoft** 2002

Dušek, F.; Honc, D. (2002). *Implementation of LQ control in SIMULINK*. In: 14th International Conference on Process Control 2003, June 8-11, 2003, Štrbské Pleso, High Tatras, Slovakia, p. 195, ISBN 80-227-1902-1 (plný text 6 stran na doprovodném CD)

Real Time Toolbox for use with Simulink version 3.11, User's Manual. **Humusoft** 2003

doc. Ing. František Dušek, CSc.
Ing. Daniel Honc, Ph.D.

e-mail: frantisek.dusek@upce.cz
e-mail: daniel.honc@upce.cz

tel.: 466037125
tel.: 466037107



Katedra řízení procesů a výpočetní techniky
Fakulta chemickotechnologická
Univerzita Pardubice
nám. Čs. legií 565
53210 Pardubice

