

MODELÝ REGULACE VE FYZIOLOGICKÉM PRAKTIKU

Zdeněk Wunsch, Marcel Matůš, Tomáš Kripner a Jiří Kofránek

Anotace

Regulace jsou všudypřítomnou složkou organizace životních procesů, jejich dynamické vlastnosti a chování jsou rozmanité a neřídka se mění v závislosti na fyziologických nebo patologických faktorech. Učebnice a monografie prezentují statická schemata struktur těchto systémů a verbální popis některých jejich funkčních vlastností, ale praktická cvičení neposkytují téměř žádnou možnost, aby se posluchači mohli cestou experimentu s biologickým originálem podrobněji seznámit s jejich dynamickými vlastnostmi a se souvislostmi dynamických vlastností regulačních systémů s parametry těchto systémů. Tuto mezeru se pokoušíme částečně vyrovnat tematikou simulačních experimentů, které umožňují interaktivní seznámení se základními projevy a způsoby stanovení charakteristik prvků regulačních systémů, s vlivem různých parametrů obvodu na průběh regulačního pochodu, stabilitu systému apod. Jsou též uvedeny příklady několika modelů fyziologických systémů. Prezentované sdělení spíše jen v obecné rovině navazuje na předběžnou verzi '06 přednesenou na MEDSOFTU v minulém roce.

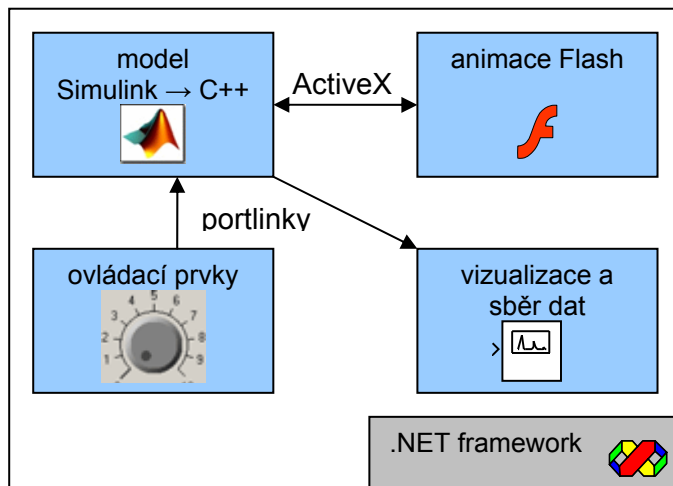
1 Úvod

Po předchozích realizacích výukových programů v prostředí Control Web a Macromedia Flash [Wunsch a spol., Medsoft '04, '05, '06] uvádíme další a ucelenější verzi výukového programu na platformě Microsoft .NET. Poslední změny souvisejí s převedením předběžné koncepce programu '06 do testovatelné beta verze s doplňky tematiky a úpravami uživatelského prostředí a použitého softwaru. Cílem zůstává nabídnout posluchačům možnost „virtuálních“ experimentů v dané tematické oblasti, kdy grafické uživatelské rozhraní umožňuje široké možnosti komunikace s modelem volbou parametrů systému a vstupních podmínek, sledováním číselných hodnot a grafické reprezentace veličin.

2 Metodika

Projekt se skládá z částí, vyžadující spolupráci více oborů. Fyziolog připravuje scénáře jednotlivých úkolů, tj. promění myšlenku, jakou část teorie má uživatel na určitém panelu pochopit a podle toho navrhne matematický model v prostředí MATLAB/Simulink a odsimuluje správnost

modelu. Programátor konstruuje rámec, pro běh modelu mimo původní simulační prostředí a prostředky pro ovládaní a vizualizaci. Vytvoří tak vhodné grafické uživatelské prostředí. Vizualizační a případně i ovládací komponenty (např. ve formě interaktivních animací Flash) výtvarně navrhuje a skriptuje grafik. Z prostředí MATLAB/Simulink exportujeme modely ve formě kódu C++, knihoven DLL nebo .NET assembly. Je to umožněno pomocí toolboxu Real-Time Workshop a proprietární šablony [Stodulka, Privitzer, Medsoft '06].



Obr. 1: koncepce propojení komponentů v prostředí Microsoft .NET

Takto vyexportovaný model lze snadno provozovat v hostitelské aplikaci (typicky Microsoft .NET aplikace). Třída modelu nabízí metody ke komunikaci se vstupně/výstupními porty modelu, k inicializaci a vykonání simulačního kroku modelu.

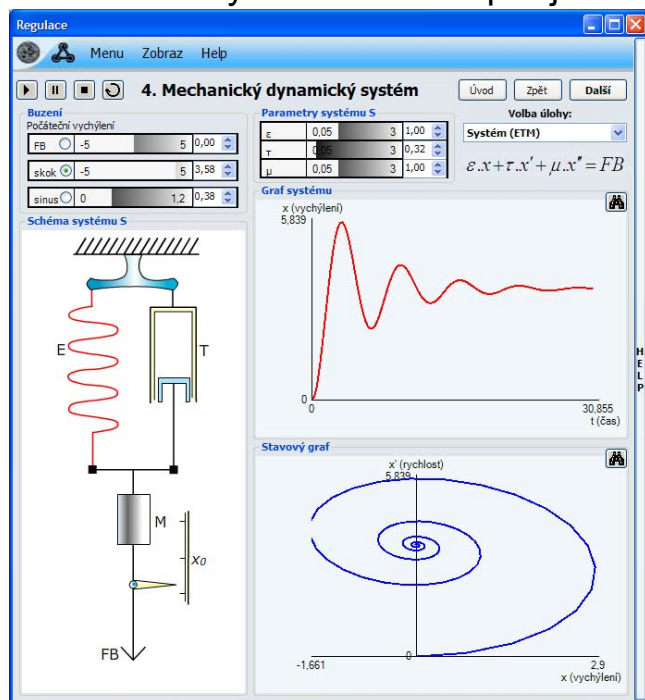
Pro další komunikaci modelu (vstupy a výstupy) s interaktivními prvky rozhraní používáme technologii tzv. portlinků [Stodulka, Privitzer, Medsoft '06].

Portlinky jsou spojovací třídy, které automatizují předávání dat mezi modelem a vizuálními komponentami (graf, tabulka, textový blok, MediVector – komponenta na nastavení požadované hodnoty, aj.). Vývojovým prostředím pro implementaci výukového programu je Microsoft Visual Studio .NET. Používají se jak jeho standardní prvky, tak prvky vyvinuté u nás v laboratoři (MediVector, DifferenceGraph, příp. Interaktivní animace). Simulační modely sestavené a odladěné ve vizuálním prostředí Simulinku jsou odtud automaticky exportovány do .NET assembly obsahující třídu modelu přímo referencovatelnou z ostatního kódu. V současné době jsou podporovány modely s fixním simulačním krokem a výpočetní procedury 1. až 5. řádu. Poslední komponentou výukového programu jsou interaktivní animace vytvořené nástroji Macromedia Flash, které komunikují s .NET prostředím pomocí ActiveX rozhraní (koncepti propojení komponent shrnuje obr. 1, příklad flash animace viz obr. 2).

3 Téma

Téma ve srovnání s původní koncepcí '06 se rovněž v obecné rovině nemění. Regulace mají základní význam pro průběh životních pochodů a jsou všudypřítomnou složkou jejich organizace. Struktura a dynamické

vlastnosti biologických regulačních systémů jsou velmi rozmanité, popř. i proměnlivé jak za fyziologických tak i patologických podmínek. Učebnice a jiné odborné texty prezentují statická schemata těchto systémů a eventuálně verbální popis jejich funkčních vlastností, ale běžná praktika neposkytují téměř žádnou možnost, aby si posluchači mohli v experimentu s biologickým originálem ověřit jejich dynamické vlastnosti, účinky různých poruchových vlivů a změn parametrů systému na chování regulované veličiny apod. Projekt má přispět k překlenování těchto omezení. Počítačové simulace (nebo imitace) v praktické výuce biomedicínských témat se opírají o současný metodický aparát systémových věd a jim odpovídající způsob vědeckého myšlení a k tomu se posluchač medicíny dostává jen sporadicky, pokud vůbec. Přitom právě složitost biologických systémů a jejich funkčních vlastností byla jedním z hlavních motivů, který startoval současný vývoj systémových věd v polovině minulého století. Systémové vědy sice nejsou explicitní součástí lékařského studia, ale např. v odborné biomedicínské literatuře je řada témat, která se bez znalostí umožňujících porozumění matematickým a počítačovým modelům neobejdou (např. aplikovaná biokybernetika, computational neuroscience aj.). Před-

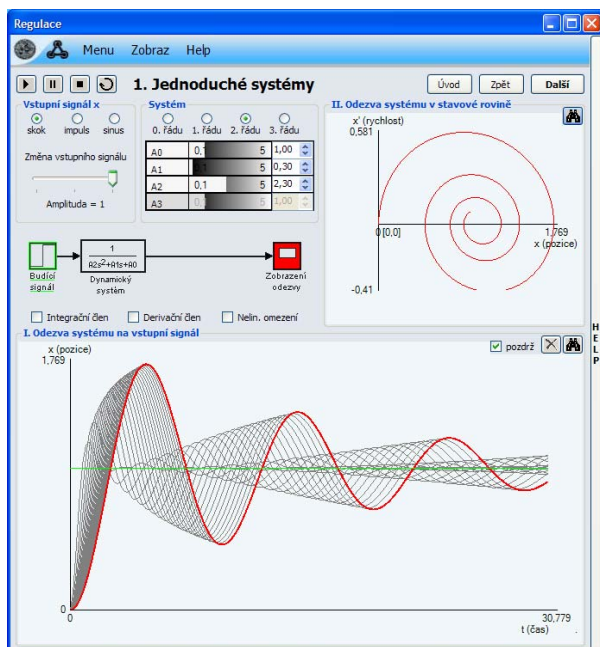


Obr.2: Použití interaktivní animace mechanické analogie při výkladu dynamických systémů

pokládáme, že prostřednictvím uvažovaných interaktivních počítačových modelů lze realizovat praktikum, které posluchači zprostředkuje nejen něco virtuální empirické zkušenosti s některými základními vlastnostmi regulačních systémů, ale současně i něco elementárního z formulace počítačových modelů a teorie regulace. Praktikum je tak možno brát jako dílčí příklad jedné části metodologie biokybernetiky, jejíž předmětnou oblastí jsou ovšem nejen jednoduché regulační systémy, ale všechny složitější a složité dynamické systémy živých soustav jejichž součástí jsou regulační obvody, včetně těch s emergentními vlastnostmi.

4 Struktura programu

Celý program je strukturovaný do jednotlivých panelů, které jsou seřazené za sebou v posloupnosti, reprezentující narůstající náročnost. Všechny úkoly (panely) můžeme seřadit do následující struktury:



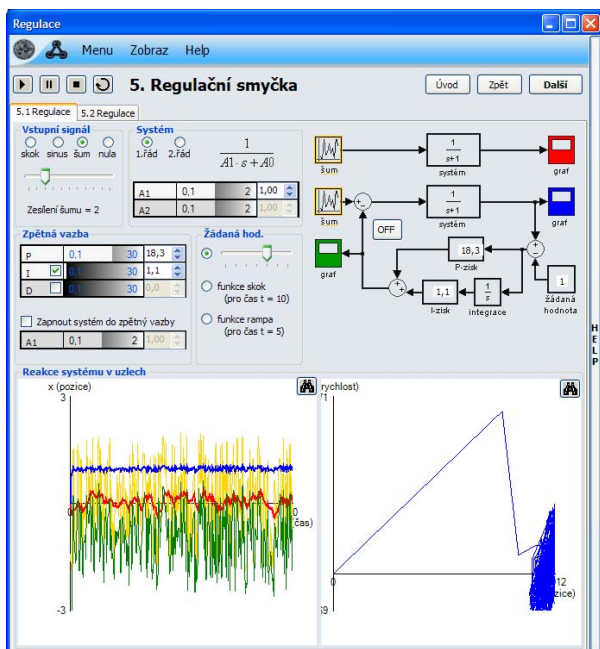
Obr.3: Použití některých prvků regulačních systémů

4.1 Úvod (panel 0)

Úvodní obrazovka obeznamuje uživatele se záměrem programu a s ovládacími prvky programu.

4.2 Prvky regulačních systémů (panely 1. – 4.)

V této skupině úkolů si uživatel vyzkouší působení různých vstupních průběhů na volitelné typy jednoduchých dynamických prvků a zjišťuje odpovídající charakter a rozdíly v odezvách. V následujících panelech se seznamuje s používanými postupy při stanovování statických a dynamických charakteristik, se zobrazením průběhů ve fázovém prostoru, s jednoduchými lineárními systémy s použitím přenosu. Na obr.3 je znázorněný panel s jednoduchými systémy, který umožňuje demonstrovat vliv vstupního signálu na přenos systému a vliv integrační a derivační složky, případně nelineárního omezení. Na obrázku je simulován vliv parametrů na systém 2.řádu.

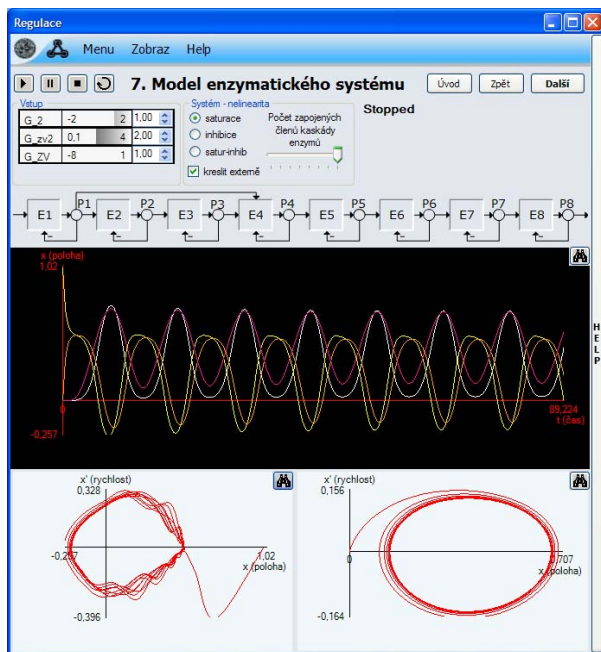


Obr.4: Varianty systémů se zpětnou vazbou

4.3 Systémy se zpětnou vazbou – regulace (panely 5.1 a 5.2)

Základní struktura systému se zápornou zpětnou vazbou je umístěna ve dvou panelech, které mají širokou škálu možností nastavení. Uživatel má na začátek k dispozici lineární regulovaný systém

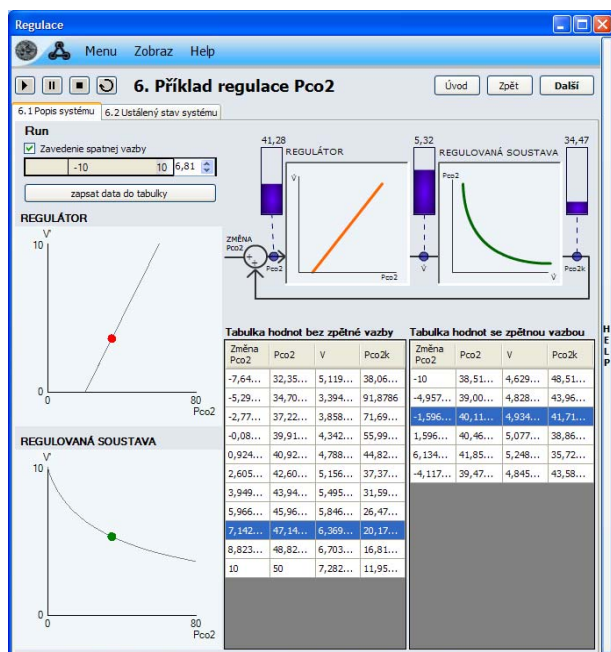
s proporcionálním regulátorem. Může si k tomu přidat jeden z P, PI, PD a PID regulátoru, vyzkoušet vliv žádané hodnoty a dopravního zpoždění. Dále je možnost zapojit do zpětné vazby dynamický prvek. Na obr.4 je demonstrován vliv PI regulátoru a žádané hodnoty (v našem případě měla hodnotu 1) na systém 1.řádu, který má na vstupu šum. (Na příkladu je patrné, jak se regulace snaží udržet výstup u žádané hodnoty 1).



Obr.5: Model enzymatického systému s násobnými vazbami

4.4 Modely fyziologických regulačních systémů (panely 6 - 10)

Fyziologické regulační systémy se mohou nezdědka odlišovat strukturou a/nebo chováním od systémů uvedených na předchozích panelech (mají však vždy alespoň jednu zápornou zpětnou vazbu). Příkladem mohou být vícenásobné zpětné vazby, dopředná vazba, parametrická zpětná vazba, antagonistické vazby aj. Některé z jed-nodušších variant ilustruje několik modelů umožňujících interakci volbou hodnot parametrů (výstupy některých těchto modelů jsou na obr.5 a obr.6), některé další jsou pak popsány v poslední výkladové části programu.



Obr.6: Rovnovážný bod systému (žádaná hodnota) jako průsečík statických charakteristik (regulace Pco2 podle Millhorna)

5 Závěr

Připravovaný výukový program nabízí široké spektrum simulačních experimentů v tématické oblasti, která je jinak obtížně, pokud vůbec, realizovatelná v praktických cvičeníh na biologickém objektu. Zprostředkovává uživateli i něco málo z některých obecně využitelných koncepcí, termínů a metodických nástrojů, které jsou základem formulace a různých forem uplatnění biokybernetických

modelů. Využívá předchozích zkušeností novějšího a vhodnějšího softwaru pro realizaci podobných interaktivních simulačních programů,

doc. MUDr. Zdeněk Wunsch, CSc., Marcel Matúš
Laboratoř biokybernetiky a počítačové podpory výuky
Ústav patologické fyziologie 1. LF UK
e-mail: zwun@lf1.cuni.cz, mmatu@lf1.cuni.cz

6 Literatura

- [1] Wunsch Z., Dostál C., Veselý A. *Základy lékařské kybernetiky*. Avicenum, Praha 1977
- [2] Milhorn H. T. *The application of control theory to physiological systems*. Saunders Co., Philadelphia 1966
- [3] Kubík S., Kotek Z., Šalamon M. *Teorie regulace. I. Lineární regulace*. SNTL, Praha 1974
- [4] Khoo M. C. K. *Physiological control systems*. IEEE Press, New York 2000
- [5] Glass L., Malta C.P. *Chaos in multi-looped negative feedback systems*. J. theor. Biol. 1990, 145, 217-223
- [6] Cavalcanti S., Belardinelli E. *Modeling of cardiovascular variability using differential delay equation*. IEEE Transactions on biomedical engineering, 1996, 43, 982-989
- [7] Wunsch Z., Šefl O. *Einige allgemeine Möglichkeiten der Kooperation in antagonistischen Systemen*. In: Biokybernetik, vol. V, 342-349, G.Fischer, Jena 1975
- [8] Troelsen A. *C# a .NET 2.0 profesionálně*. Zoner Press, 2005
- [9] The MathWorks. *Real-Time Workshop*. Online: www.mathworks.com/products/rtw/
- [10] Wunsch Z. *Principy fyziologických regulací*. Lékařská fyziologie (17.kapitola v: Trojan a kol.), GRADA Pub., Praha 2003
- [11] Ashby W. R.: *Design for a brain*. J.Wiley, New York 1952

Poděkování

Práce na vývoji lékařských simulátorů je podporována grantem MŠMT č.2C06031 a společností BAJT servis s.r.o.