

Modely regulace ve fyziologickém praktiku a biokybernetika

Zdeněk Wünsch, Tomáš Kripner a Jiří Kofránek, 1. LF UK

Abstrakt

Regulace jsou všudypřítomnou složkou organizace životních procesů, jejich dynamické vlastnosti a chování jsou rozmanité a nezřídka proměnlivé v závislosti na odpovídající struktuře a parametrech daných morfofyziologických struktur. 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 struktury 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. a ukázkami několika modelů vybraných fyziologických systémů rovněž s možností interaktivního experimentování s parametry struktur a vznikem emergentních jevů.

Realizace počítačových simulací proběhla na platformě Microsoft .NET za využití modelů exportovaných z prostředí Matlab / Simulink a animací vytvořených v prostředí Macromedia Flash. Jednotlivé experimenty jsou organizovány do panelů, které umožňují nastavení parametrů, řízení a sledování průběhu simulace a zaznamenání / interpretaci výsledků. Simulační modely a rozmezí nastavení jejich parametrů jsou vybrány s ohledem na didaktické zaměření programu.

Ukázky vybraných panelů a grafických výstupů simulací budou prezentovány a dány k diskusi, neboť vzhledem k šíři tematiky je program ještě ve vývoji. Praktikum je současně možno brát jako příklad jedné části metodologie biokybernetiky, jejíž předmětnou oblastí jsou ovšem nejen regulační systémy, ale všechny složitější dynamické systémy živých soustav s emergentními vlastnostmi.

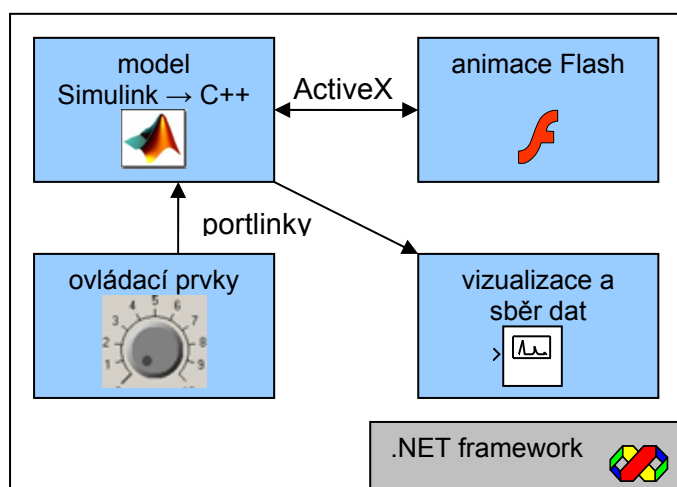
Úvod

Po předchozích realizacích výukových programů v prostředí Control Web a Macromedia Flash [Wünsch a spol., Medsoft '04, '05] uvádíme výukový program na platformě Microsoft .NET. Třetí změna vývojového prostředí souvisí s výzkumným zaměřením pracoviště a jde nejen o volbu a realizaci nového výukového tématu, ale též o hledání vhodné metodiky a prostředků k dalším realizacím medicínských výukových programů založených na simulačních modelech. Cílem je vždy nabídnout posluchačům možnost „virtuálních“ experimentů, kdy grafické uživatelské rozhraní umožňuje co nejbohatší možnosti komunikace s modelem

volbou parametrů systému a vstupních podmínek, sledováním číselných hodnot a grafické reprezentace veličin.

Metodika

Projekt vyžaduje úzkou mezioborovou spolupráci, v daném případě fyziologa, programátora a grafika. Např. fyziolog připraví scénář projektu, tj. co bude předmětem výukového programu, jak a s jakými interaktivními možnostmi budou témata prezentována a sestaví matematické modely (např. v Matlabu / Simulinku), jejichž vlastnosti pak odzkouší. Programátor konstruuje rámec pro běh modelu mimo původní simulační prostředí a prostředky pro ovládání a vizualizaci a vytvoří tak vhodné grafické uživatelské prostředí. Vizualizační a případně i ovládací komponenty (např. ve formě interaktivních animací Flash) výtvarně navrhuje a skriptuje grafik. Ze softwarového prostředí Matlab / Simulink, které až na nejjednodušší úlohy používáme k implementaci, ladění a testování matematických modelů, lze pomocí toolboxu RealTime Workshop a proprietární šablony [Stodulka, Privitzer, Medsoft '06] exportovat dynamické modely i s řešičem ve formě kódu C++, knihoven DLL či .NET assembly. Takto vyexportovaný model lze snadno provozovat



v hostitelské aplikaci (typicky Microsoft .NET aplikace) – třída modelu nabízí metody nastavení vstupů / přečtení výstupů, inicializaci a vykonání simulačního kroku modelu. Pro další zjednodušení provázání modelu s kompatibilními ovládacími / vizualizačními komponenty lze použít technologii tzv. portlinků [Stodulka, Privitzer, Medsoft '06] – spojovacích tříd, které automatizují předávání dat mezi modelem a komponenty.

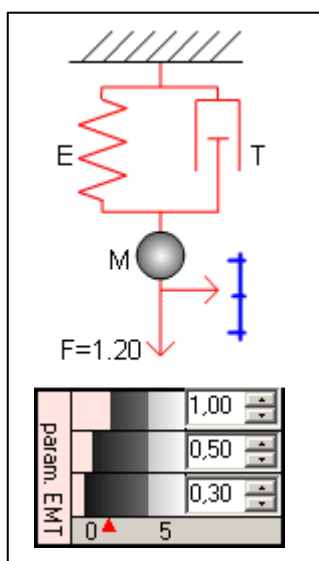
Obrázek 1 – koncepce propojení komponentů v prostředí .NET

Vývojovým prostředím pro implementaci výukového programu je Microsoft Visual Studio .NET; používají se jak jeho standardní ovládací prvky, tak vlastní komponenty vyvinuté v naší laboratoři (MediVector, DifferenceGraph). Simulační modely sestavené a odladěné – jak uvedeno výše - ve vizuálním prostředí Simulinku jsou odtud automaticky exportovány do .NET assembly obsahující třídu modelu přímo referencovatelnou z ostatního kódu. V současné době jsou podporová-

ny modely s fixním simulačním krokem a řešičem 1. až 5. řádu. Posledním komponentem výukového programu jsou interaktivní animace vytvořené nástroji Macromedia Flash, které komunikují s .NET prostředím pomocí ActiveX rozhraní (koncepti propojení komponentů shrnuje Obrázek 1, příklad flash animace viz Obrázek 2).

Téma

Vlastnosti regulačních systémů jsme jako téma tohoto výukového programu zvolili z více důvodů. Regulace jsou všudypřítomnou složkou organizace životních procesů, jejich dynamické vlastnosti a chování jsou rozmanité a nezdánlivě proměnlivé v závislosti na struktuře a parametrech daných morfofyzilogických struktur. Učebnice a jiné odborné texty mohou prezentovat statická schemata těchto systémů a eventuálně verbální popis jejich funkčních vlastností, ale praktika neposkytují téměř žádnou možnost, aby si mohli posluchači v experimentu s biologickým originálem ověřit jejich dynamické vlastnosti, účinky různých poruchových vlivů a změn parametrů systému na chování regulované veličiny apod. Projekt může pomoci tato omezení překlenout.



Obrázek 2 – Použití interaktivní animace mechanické analogie při výkladu dynamiky systémů

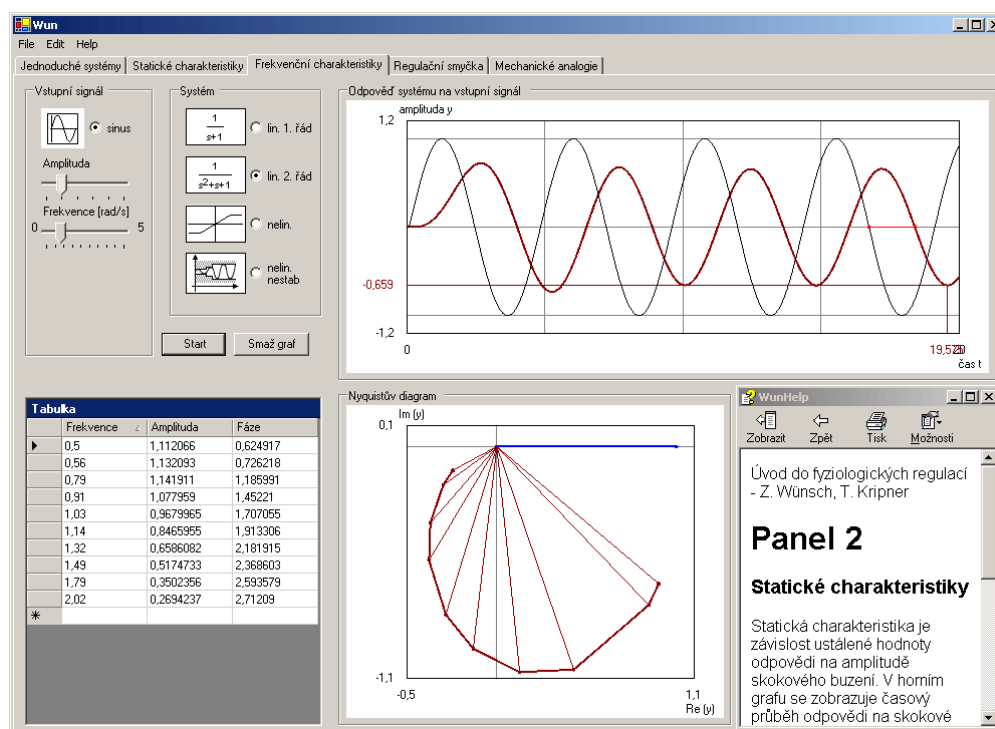
Pokoušíme se však také vyhovět i jiné motivaci. Počítačové simulace (nebo imitace) v praktické výuce biomedicínských témat nejsou jen pozoruhodným interaktivním nástrojem výuky, ale opírají se o současný metodický aparát systémových věd a jim odpovídající způsob vědeckého myšlení a k tomu se posluchač medicíny dostává jen sporadicky, pokud vůbec. Přitom – jak se lze snadno přesvědčit – právě složitost biologických systémů a jejich funkčních vlastností byla jedním z hlavních motivů, který startoval současný vývoj systémových věd v polovině minulého století. Tematika systémových věd sice není explicitní součástí lékařského studia, ale pro některé empiricky význam-

né vlastnosti biosystémů existují užitečné teoretické interpretace, takže určité znalosti z této oblasti by měly být pro posluchače užitečné pro hlubší porozumění metodologii konstrukce výukových simulačních modelů a též některým oblastem biomedicínských věd (např. aplikovaná biokybernetika, computational neuroscience aj.). Předpokládáme, že prostřednictvím interaktivních počítačových modelů lze realizovat praktikum, které posluchači zpro-

středkuje nejen něco virtuální empirické zkušenosti s některými základními vlastnostmi regulačních systémů, ale současně i něco elementárního z teorie regulace. Praktikum je tak možno brát jako příklad – malou ukázkou – jedné části metodologie biokybernetiky, jejíž předmětnou oblastí jsou ovšem nejen regulační systémy, ale všechny složitější a složité dynamické systémy živých soustav, včetně těch s emergentními vlastnostmi.

Struktura programu

Celý program je strukturován do jednotlivých panelů, které odpovídají úlohám zaměřeným postupně na zjišťování některých vlastností prvků regulačních systémů a dále na vlivy určující průběhy regulačního pochodu; poslední skupina panelů umožňuje experimenty s příklady modelů fyziologických regulačních systémů. Každý panel je samostatnou jednotkou obsahující simulační model s ovládacími prvky pro nastavování jeho vstupů a parametrů a řízení průběhu simulace. K dispozici jsou prostředky pro sledování průběhu simulace – grafy časových průběhů, grafy x-y, tabulky pro sběr získaných dat a interaktivní animace reagující na změny simulovaných veličin. Panely jsou provázeny nápovědou popisující úlohu, obsahující návod na její provedení a odpovídající fyziologickou informaci (příklad panelu je na Obrázek 3.)



Obrázek 3 – Příklad uživatelského rozhraní jednoho panelu aplikace

Tématická struktura panelů výukového programu (stručná charakteristika):

- a) Úvod
- b) Prvky regulačních systémů: Uživatel zkouší 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, dynamických a frekvenčních charakteristik, se zobrazením průběhů ve fázovém prostoru, s jednoduchými lineárními systémy a použitím přenosu.
- c) Systémy s zpětnou vazbou – regulace: Základní struktura systému se zápornou zpětnou vazbou, lineární regulovaný systém s proporcionálním regulátorem, vlivy poruch a žádané hodnoty regulované veličiny na regulační pochod, zisk a stabilita ve zpětné vazbě. Další panely rozšiřují vlastnosti regulačního systému (parametry prvků systému, regulátory PID, nelinearity, dopravní zpoždění, oscilace, limitní cykly, dopředná vazba, polycyklické regulační systémy).
- d) Poslední skupina panelů uvádí podrobněji několik interaktivně ovlivnitelných modelů fyziologických regulačních systémů nelineárního typu specifických vlastností, jako např. antagonistická regulace pohybu předloktí nebo umožňující interpretaci některých patologických fenoménů, vznik nestability a popř. deterministického chaosu.

Závěr

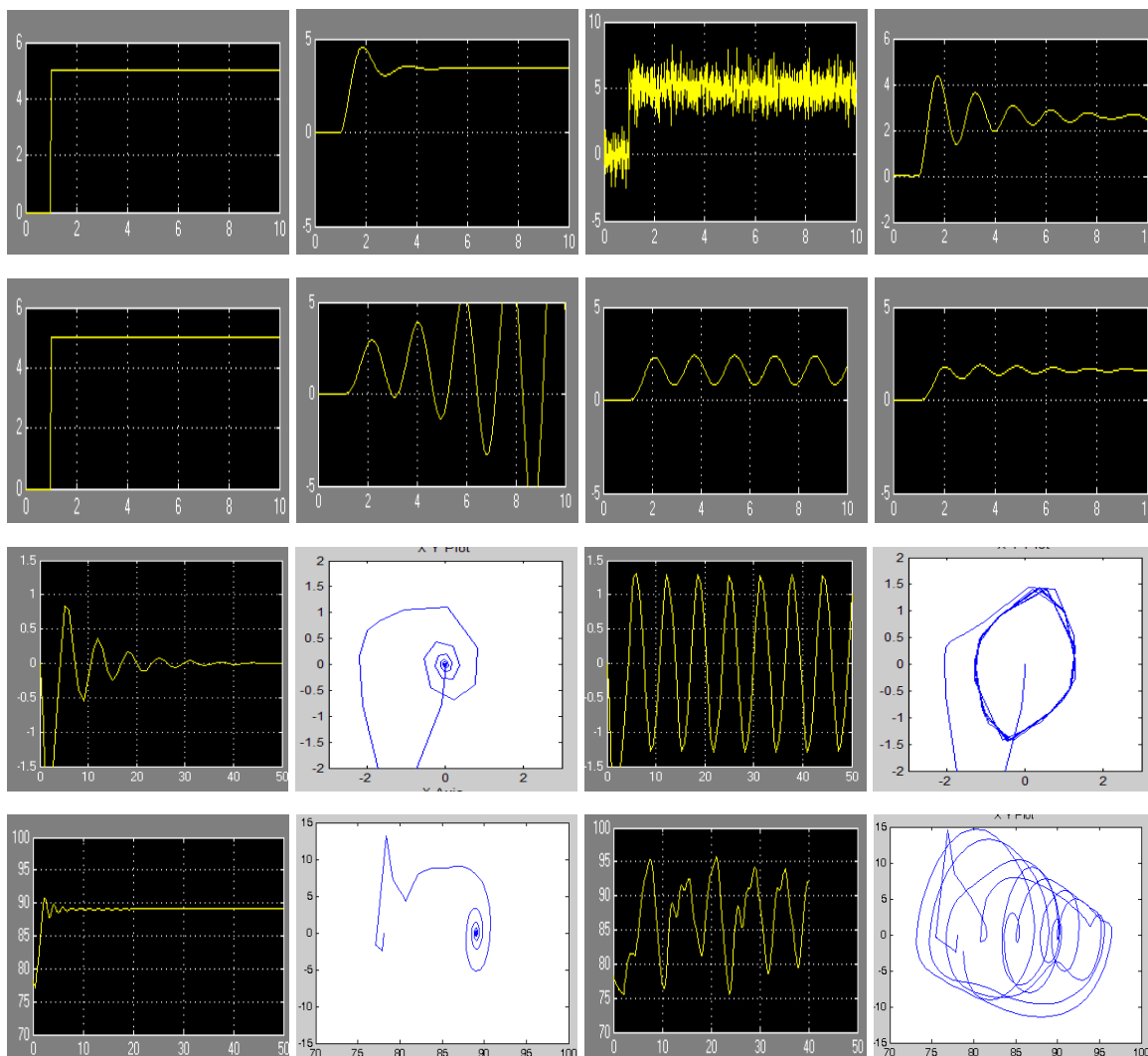
Připravovaný výukový program nabízí široké spektrum simulačních experimentů v tématické oblasti, která je jinak obtížně, pokud vůbec, realizovatelná v praktických cvičeních na biologickém objektu. Současně je pokusem jednak využít na základě předchozích zkušeností novějšího a vhodnějšího softwaru pro realizaci podobných interaktivních simulačních programů, jednak zprostředkovat uživateli i něco málo z některých obecně využitelných koncepcí, termínů a metodických nástrojů, které používá biokybernetika.

doc. MUDr. Zdeněk Wunsch, CSc.

Laboratoř biokybernetiky a počítačové podpory výuky

Ústav patologické fyziologie 1. LF UK

e-mail: ZWUN@LF1.CUNI.CZ



Obrázek 4 - Chování regulačních systémů – ilustrativní příklady.

Shora a zleva: Řádek I: vstupní skoková funkce, tlumený průběh regulované veličiny, vstupní skok s náhodným šumem, odezva méně tlumeného systému, která dokumentuje filtraci vstupního signálu (slabší tlumení je výsledek o něco většího zpětnovazebního zisku). Řádek II: vstupní skoková funkce, oscilace výstupní regulované veličiny nestabilního systému, oba následující grafy dokumentují zvyšovaný tlumivý vliv derivační zpětnovazební složky. Řádek III: Odezva nelineárního systému na skok: nejprve časový průběh, pak zobrazení ve fázové rovině (osa x a y: veličina a její derivace), další dvojice výstup regulované veličiny téhož systému, jako je předešlý, ale s dopravním zpožděním ve zpětné vazbě. Řádek IV: Odezva modelu systému regulace tlaku s fyziologickými parametry (opět zobrazení časového průběhu a ve fázovém prostoru) a za patologických podmínek s dopravním zpožděním ve zpětné vazbě. Podivný atraktor ve fázovém prostoru svědčí pro vznik deterministického chaosu.