

OD SIMULINKOVÝCH SÍTÍ K MODELICE PŘI VÝVOJI LÉKAŘSKÝCH SIMULÁTORŮ

Jiří Kofránek, Marek Mateják, Filip Ježek, Tomáš Kulhánek, Tomáš Kroček

Laboratoř biokybernetiky ÚPF, 1. LF UK

Modely, které jsou teoretickým podkladem lékařských trenažerů, zahrnují matematické modely nejen jednotlivých fyziologických subsystémů, ale i jejich propojení do komplexnějšího celku.

Jedním z prvních rozsáhlých matematických popisů fyziologických funkcí propojených subsystémů organismu byl formalizovaný popis regulace oběhu s návaznostmi na další fyziologické subsystémy, který v roce 1972 publikoval A.C. Guyton se dvěma spoluautory. Článek otištěný v renomovaném odborném lékařském časopise *Annual Review of Physiology* se svou podobou na již první pohled naprosto vymyká navyklé podobě fyziologických článků té doby. Jeho podstatnou část tvořilo rozsáhlé schéma na vlepené příloze, které představovalo formalizovaný popis fyziologických vztahů pomocí graficky vyjádřeného matematického modelu. Guytonův model byl určitým mezníkem, který se snažil systémovým pohledem na fyziologické regulace zachytit dynamiku vztahů mezi regulací oběhu, ledvin, dýchání, objemu a iontového složení tělních tekutin pomocí graficky znázorněné sítě. Grafický zápis matematického modelu prostřednictvím sítě propojených bloků byl ale v době svého vzniku pouhým obrazovým znázorněním – Guytonův model i jeho další modifikace (stejně jako i modely dalších autorů, kteří Guytonovu vyjadřovací notaci přejali) byly původně implementovány ve Fortranu a později v jazyce C++. Podobnost prvků Guytonova schématu se simulinkovými bloky nás mimo jiné inspirovala k tomu, abychom prostřednictvím Simulinku vzkřísili starý klasický Guytonův diagram a převedli ho do podoby funkčního simulačního modelu (www.physiome.cz/guyton). Vnější vzhled simulinkového modelu jsme se snažili zachovat zcela stejný jako v původním grafickém schématu – rozložení, rozmístění vodičů, názvy veličin i čísla bloků jsou stejné. Simulační vizualizace starého schématu nebyla úplně snadná – v originálním obrázkovém schématu modelu byly totiž grafické překlepy. V nakresleném obrázku to nevádí, pokusíme-li se ho ale oživit v Simulinku, pak model ihned zkolabuje jako celek.

Guyton a jeho spolupracovníci model nepřetržitě dále rozvíjeli. Tyto modely jsou podkladem i pro rozvoj současných komplexních modelů fyziologických regulací v rámci celoevropského projektu *Virtual Physiological Human* (<http://www.vph-noe.eu/>). Současný model Guytonových spolupracovníků *HumMod* (<http://hummod.org>) má více než 4000 proměnných. Jeho zdrojový kód je implementovaný pomocí několika tisíc XML souborů.

Nedávný vývoj tzv. akauzálních simulačních nástrojů (kam např. patří akauzální simulinkové knihovny Simscape a další) přinesl nové možnosti pro efektivnější vývoj rozsáhlých simulačních modelů. Zásadní inovací je možnost popisovat jednotlivé části modelu přímo **jako soustavu rovnic a nikoli jako algoritmus řešení těchto rovnic**. Zápis modelů je deklarativní (popisujeme strukturu a matematické vztahy, nikoli algoritmus výpočtu) – zápis je tedy akauzální. Moderním simulačním jazykem, který je přímo postaven na akauzálním zápisu modelů je *Modelica*. Naše implementace modelu "Hummod" v jazyce Modelica přinesla mnohem průzračnější a zřetelnější popis modelovaných fyziologických vztahů. Odhalili jsme také několik chyb v původním modelu, model jsme modifikovali a rozšířili zejména v oblasti modelování acidobazické homeostázy prostředí. Naše verze modelu - "Hummod-Golem Edition" (<http://physiome.cz/hummod>) zahrnuje propojené fyziologické systémy. Umožňuje modelovat řadu patologických stavů u příslušných terapeutických zásahů. Je teoretickým podkladem pro výukové simulátory, zejména pro námi vyvíjený lékařský výukový trenažer „eGolem“, určený pro lékařskou výuku akutních stavů.

Modely v Modelice jsou přehledné a samodokumentující. Struktura modelů v Modelice mnohem lépe zobrazuje fyzikální podstatu modelované reality, což můžeme demonstrovat na porovnání simulinkové verze implementace klasického Guytonova modelu s implementací v Modelice. To však neznamená, že přechodem k Modelice ztrácíme možnosti využití prostředí Mathworks. Naopak, profesionální vývojová prostředí využívající jazyk Modelica (např. Dymola od Dassault Systems) **umožňují propojení se Matlabem a Simulinkem** a tím i využití rozsáhlých aplikačních knihoven a rozšiřují tak možnosti jejich uplatnění.