

SADA VÝUKOVÝCH SIMULÁTORŮ - VÝSLEDKY VÝVOJE FRAMEWORKU BODYLIGHT

Filip Ježek¹, Martin Tribula², Jiří Kofránek², Josef Kolman², Pavol Privitzer,² Jan Šilar²

Abstrakt

Pro výuku předmětu Poruchy fyziologických regulací jsme vyvinuli sadu výukových simulátorů.

Jejich základem je snadno přenositelný model v silném modelovacím jazyce Modelica, jehož obliba roste po celém světě. Oproti jiným přístupům k výukovým simulátorům, tyto simulace běží na klientovi přímo ve webovém prohlížeči (v pluginu Silverlight). To nám zjednodušuje instalaci a jelikož celý výpočet běží na klientovi, nemusíme řešit zátěž serverů. Oproti serverovým řešením je tento postup vhodnější spíše pro jednodušší simulace, což je přesně cíl našich výukových pomůcek. Prostředí Silverlight nám poskytuje výhodu pro konverzi na tablety s operačním systémem Windows 8 RT, tyto možnosti budou dále diskutovány.

Po dlouhé době vývoje frameworku jsme tímto produktem vyzkoušeli praktičnost a efektivitu celého prostředí. Příspěvek má za cíl seznámit s jednoduchostí tvorby takových simulátorů a praktickou využitelností ve výuce.

Klíčová slova

simulátor, bodylight, modelica, silverlight, e-learning

Úvod

Tradiční formy didaktických médií, jako jsou text, zvuk, obraz, nebo i pohyblivý obraz se v digitálním světě projeví téměř v nezměněné formě. Zásadní inovací, kterou digitalizace těchto forem médií přinesla, je jejich indexace (možnost prohledávat velké množství dat) a dosažitelnost odkudkoli, případně i možnost jejich přímé editace. Vrcholnou ukázkou možností editace je forma wiki. Klasické formy e-learningu (například LMS typu Moodle) pak přináší několik dalších služeb nad prakticky tradičním obsahem.

Počítačová technologie však nabízí daleko širší výukové možnosti, zejména simulace a virtuální realitu. Virtuální realita je výukové médium budoucnosti, které je zásadní zejména v medicíně:

“Největší síla virtuální reality je v možnostech zkoušet a dopouštět se omylů bez následků na zvířeti či pacientovi. A jen díky takovým omylům - a pochopením příčin omylů - se dostaneme na cestu k úspěchu.”
(Richard Satava)

1 Katedra kybernetiky, FEL ČVUT

2 Laboratoř biokybernetiky, 1. LF UK

Tvorba těchto médií virtuální reality je stále technologicky náročná. Náš tým se zabývá vývojem nástrojů pro tvorbu simulátorů a to tak, aby se autor mohl soustředit na obsah a nikoli na technickou stránku věci. Virtuální realita je běžně chápána jako 3D simulace, jedná se však o podstatně větší množství modalit. V kontextu chápání patofyziologických souvislostí je nejdůležitější modalitou samotný fyziologický proces. Ten však nemusí být nutně vyjádřen ve 3D formě, ale v nejzákladnější podobě například průběhy virtuálně sledovaných hodnot.

Základem takové výukové pomůcky je však správná definice cíle pomůcky a scénáře použití. V následujícím textu se pokusíme představit jak produkční proces, technologii vývoje, tak i samotné simulátory jako několik příkladů finálních výsledků.

Technologie

Technologie oproti minulému roku rapidně vyspěla. Stále však stojí na třech pilířích: Modelica, Silverlight a Bodylight Framework.

Modelica

Modelica je relativně nový modelovací jazyk pro popis systémů algebro-diferenciálních rovnic. Mezi výhody tohoto jazyka patří akauzalita výpočtu, hierarchický objektově orientovaný návrh, zahrnující jak rovnice, tak složitější objekty, dále rychlost výpočtu a v neposlední řadě rostoucí počet nástrojů, které s Modelicou dokáží pracovat. My jsme se rozhodli pro jazyk Modelica zejména kvůli jednoduchému návrhu modelu, znovupoužitelnosti komponent a přehlednosti výsledného modelu, takže se dá prezentovat a vysvětlovat i na samotné implementaci. Modelica je navíc standardizovaný jazyk (modelica.org), s několika komerčními i open-source nástroji (například OpenModelica.org).

Silverlight

Virtuální laboratoř nesmí odrazovat způsobem instalace a měla by být dostupná na většině systémů. Proto jsme jako hlavní prezentační platformu vybrali Microsoft Silverlight, která nám umožňuje spouštět aplikace přímo v internetovém prohlížeči, kde stačí mít nainstalovaný pouze malý plug-in.

Jakmile tedy plugin máme, výhodou je spouštění interaktivních komponent bez instalace. Nevýhodou je absence tohoto pluginu pro operační systémy Linux, Android, iOS a v poslední době též Windows RT.

Novou výzvou je konverze frameworku pro Windows Runtime, aneb prostředí pro "nové uživatelské rozhraní" (dříve označované jako Metro). Tuto platformu můžeme najít ve všech operačních systémech s Windows 8 a to včetně tabletů a Windows Phone 8 telefonů. Přizpůsobení na ostatní operační systémy by vyžadovala zásadnější zásah do kódu a jsou v plánu až v dlouhodobějších horizontech.

Bodylight Framework

Bodylight framework je vyvíjen v Laboratoři biokybernetiky a počítačové podpory výuky, 1. lékařská fakulta, Univerzita Karlova v Praze, již po několik

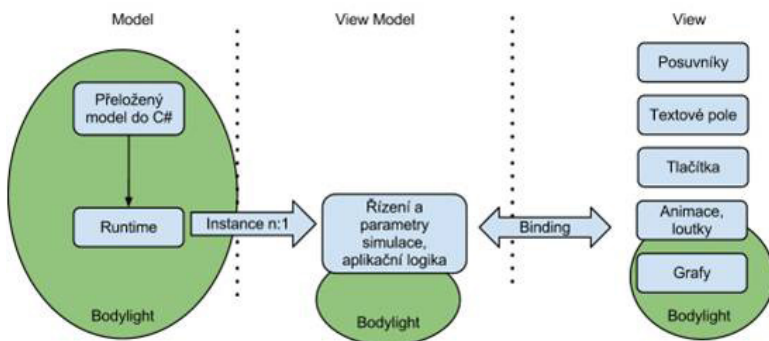
let. Obsahuje nástroje pro převod Modelica modelů do prostředí .NET, spolu s podpůrným prostředím pro jejich běh a také doplňkové nástroje sloužící k interaktivní animaci a zobrazení výsledků modelu. Díky pokroku v tomto frameworku jsme schopni vytvářet výukové nástroje rychle a efektivně v řádu dnů.

Platforma

Celý framework je cílen pro platformu Silverlight, je proto postaven na Microsoft .NET. Cílený Silverlight však není jediným možným výstupem, zdrojový kód větší části je platformě nezávislý a může být referencován všemi platformami postavenými na .NET technologii (což slibuje snadnou konverzi pro Windows RT).

Vrstvy

Dle architektury Model - View Model - View je aplikace rozdělena na tři vrstvy.



Obrázek 1

Příklady výsledných simulátorů

V současné době vzniklo 5 simulátorů. Vybraná témata nejsou těžištěm předmětu, spíše jejím ilustrativním doplněním s důrazem na jednoduchost demonstrace. Na druhou stranu, pro pochopení těchto abstraktních témat muselo být vynaloženo velké úsilí ve výkladu. Simulátory byly proto navrženy pro zjednodušení výkladu a názornost.

Nakonec pro základ virtuální laboratoře bylo vybráno těchto pět témat:

- Hodgkin-Huxley model excitace neuronu
- Jednoduchá cirkulace
- Základy farmakokinetiky
- Poruchy regulace glukózy
- Měření srdečního výdeje diluční metodou

Simulátory nejsou míněny jako samostatný učební nástroj, ale pouze jako doplňková pomůcka k výkladu. Proto nejsou vybaveny scénářem, který doprovází výuku.

Cíle jednotlivých simulátorů

Hodgkin-Huxley model excitace neuronu

Na základě excitačních impulsů na vstupu generuje neuron svůj excitační potenciál, který se liší podle síly excitace. Problematika šíření pulsu na membráně je ve skutečnosti daleko složitější, zde se pouze snažíme ukázat základní funkci neuronu. Student musí umět popsat změnu generovaného signálu v závislosti na excitaci, ukázat refrakterní zónu a depolarizaci.

Zde je plánované ještě didaktické doplnění vlivu jednotlivých iontových kanálů.

Jednoduchá cirkulace

Okruh lidské cirkulace je netriviální zapojení zahrnující mnoho parametrů. Pro regulaci srdečního výdeje mají právě tyto parametry zásadní vliv. Simulátor nám dovoluje měnit poddajnosti a rezistance a srdeční výkon zjednodušený za sklon Starlingovy křivky.

Student má díky simulátoru:

- popsat vliv poddajnosti na celkovou cirkulaci
- vysvětlit důležitost variabilního objemu V_0 , tedy objemu cév, které netvoří tlak
- z paměti říct normální hodnoty normálního krevního objemu, minutového průtoku a krevního tlaku ve všech čtyřech zónách.
- vysvětlit roli sklonu Starlingovy křivky a její důležitost pro regulaci cirkulace.

Základy farmakokinetiky

Inženýrský přístup k fyziologii popisuje vzájemné reakce a spojitosti, ale v nemocniční praxi se neobejdeme bez medikamentů. Vliv jednotlivých látek je rozdílný interindividuálně i intraindividuálně a jejich přesný popis je mimo cíle předmětu. Nicméně student by měl:

- popsat principy dávkování
- uvědomit si léčebnou a rizikovou hladinu léčiva
- vysvětlit vliv vylučování a dlouhodobého ukládání ve specifických tkáních
- popsat cestu léčiva organismem a jeho průběh koncentrace
- vysvětlit léčebný rozdíl mezi intravenózní, infuzní a perorální léčbou

Poruchy regulace glukózy

Poruchy regulace glukózy patří mezi nejčastější metabolické poruchy. Dělí se na diabetes I typu, označovaný také jako inzulín-dependentní diabetes mellitus (IDDM) a non-inzulín-dependentní (NIDDM), neboli diabetes II typu.

Oba typy mají podobné příznaky, ale rozdílné příčiny. První typ se vyskytuje už u mladistvých, kdežto druhý typ je typičtější pro starší generace. Simulátor má za cíl zejména vysvětlit rozdíl mezi jednotlivými typy diabetu a ukázat obvykle skryté hladiny glukózy a inzulínu a jejich závislost a reakce na podněty. Student by měl být schopen:

- definovat příčinu I a příčinu II typu
- vysvětlit interakci mezi glukózou a inzulínem
- nasimulovat diabetes prvního a druhého typu
- navrhnout a zdůvodnit způsob léčby

Měření srdečního výdeje diluční metodou

Srdeční výdej je spolu s tlaky v jednotlivých větvích cirkulačního systému. Dříve se používala diluční metoda, která spočívala v injekování definovaného množství barviva do cévy a v určité vzdálenosti se měřila průsvitnost krve. Čím krev teče rychleji, tím bylo barvivo více rozpuštěné.

Dnes se již barvivo nepoužívá, místo něho se vstříkují ochlazený fyziologický roztok a měří se teplota. Princip je ale shodný, barvivo je však pro výklad názornější. Zde je potíž si představit efekt rozpouštění barviva a proč vlastně dochází ke změnám koncentrace při vyšším toku.

Student by díky simulátoru měl:

- popsat průběh koncentrace barviva v cévě
- predikovat průběh koncentrace barviva v cévě pro nenulový průtok

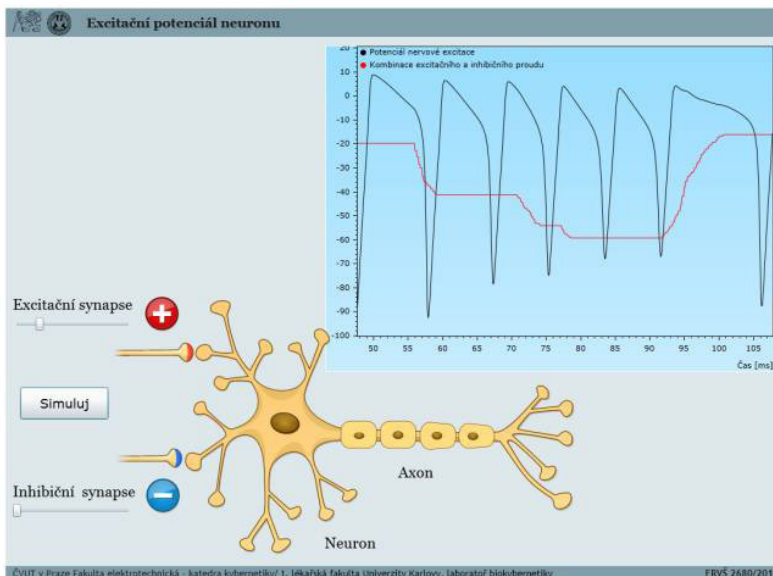
Návrh jednotlivých simulátorů

Hodgkin-Huxley model excitace neuronu

Hodgkin-Huxleyho model excitace neuronu patří k jednomu z nejzásadnějších fyziologických modelů. V našem simulátoru můžeme ovládat excitační i inhibiční vstup a na výstupu pozorovat akční potenciál. Pro silnou excitaci neuron pálí rychleji, ale nedosahuje takového potenciálu.

Samotný model je jednoduchou ukázkou práce s jazykem Modelica, včetně diferenciálních rovnic, nastavování parametrů a podobně. V souladu s cíli simulátoru zde lze nastavovat pouze dráždění membrány neuronu a pozorovat jeho výstup. Více možností tento simulátor nenabízí.

Zde je důležité upozornit na jednu fyziologickou nesrovnalost. Na první pohled vidíme, že výstup je invertovaný a při nulové excitaci ukazuje 0 mV a nikoli onich cca -70 mV, jako každá slušná buňka. Výsledný graf navíc neznázorňuje potenciál na celém neuronu, ale pouze na segmentu membrány. Excitační a inhibiční vstupy nejsou přímo synaptické, ale představují vstupní proud mezi membránou. Odpověď na všechny tyto rozpory musí přednášející zmínit při výkladu. Předně, tento model je kopií slavného Hodgkin-Huxleyova modelu a výsledný graf je diference oproti klidové hodnotě. Membránové jevy jsou pak námětem následného výkladu.



Obrázek 2 — Excitační potenciál neuronu

Jednoduchá cirkulace

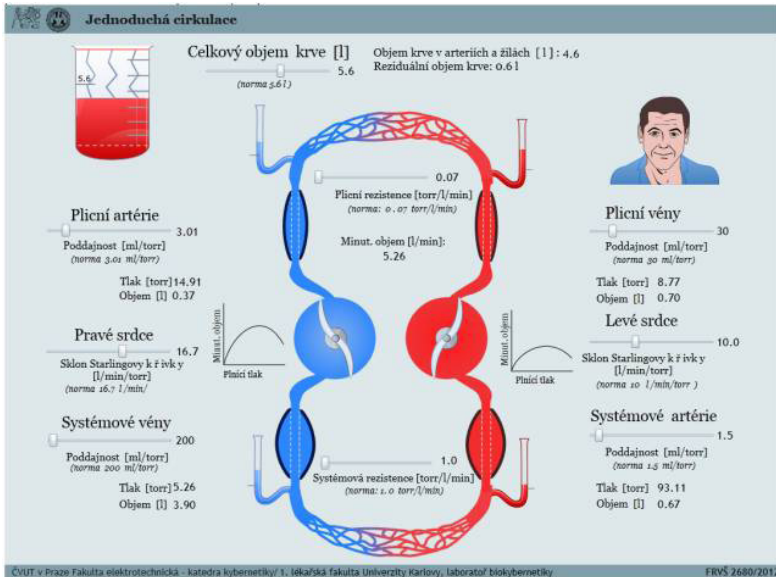
Cirkulační systém obsahuje relativně složité závislosti mezi tlakem krve v jeho jednotlivých součástech, poddajností cév, výkonem levé a pravé srdeční komory a tkáňovou rezistencí. Účelem tohoto simulátoru je tyto jevy demonstrovat. Simulátor vychází z již existujícího simulátoru vytvořeného v technologii Flash, funkčnost rozšiřuje dynamickou reakcí (ukazuje přechodové jevy po změnách, nikoli pouze steady-state) a rozlišením objemu volného a stresovaného (objem, který se podílí na zvyšování tlaku).

Zároveň zde také lze demonstrovat regulaci žilního návratu a srdečního výdeje díky Frank-Starlingovu zákonu. Tomuto simulátoru se detailně věnuje Martin Tribula v jiném článku tohoto sborníku.

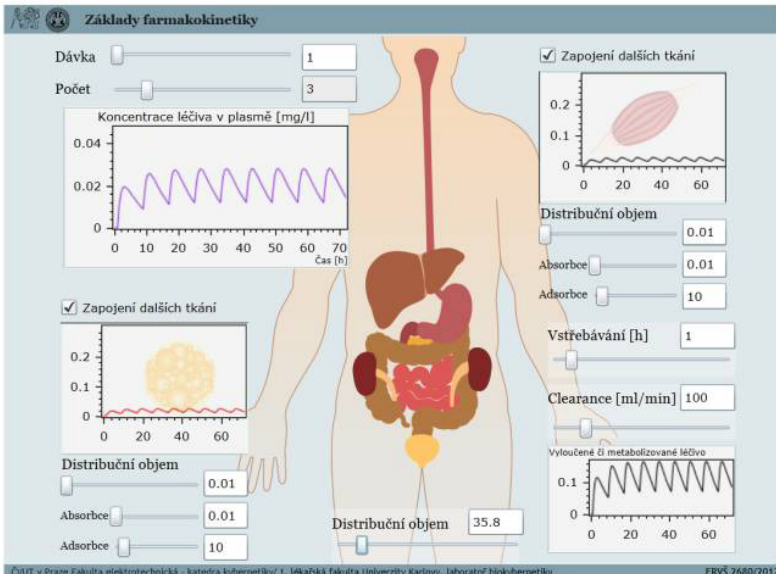
Základy farmakokinetiky

Tento simulátor nám má ukázat osudy léčiva v organismu a jak jeho hladinu ovlivňují proměnné jako vstřebávání, clearance, distribuční objem a podobně. Můžeme si volit 1 až deset dávek denně v libovolném množství.

Model je demonstrací kompartmentového přístupu ve farmakokinetice. Koncentrační konektor nám umožňuje sledovat změny koncentrací mezi kompartmenty plazmy a tkání.



Obrázek 3 — Jednoduchá cirkulace

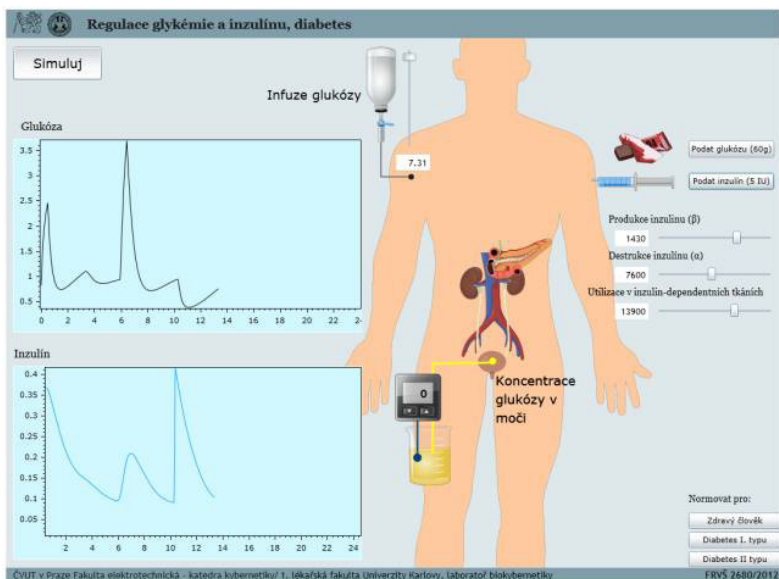


Obrázek 4 — Základy farmakokinetiky

Poruchy regulace glukózy

Hladina glukózy nám ovlivňuje inzulín a naopak. U starších osob se ve vyspělých zemích často setkáváme s rozvíjejícím se diabetem I nebo II typu. Samotný model je hezkou demonstrací rozdělení složitějšího systému na jednodušší a přehlednější bločky a rozšíření steady-state modelu v dynamický.

Dle cílů zde pozorujeme hladiny glukózy a inzulínu, při zvýšené hladině glukózy můžeme pozorovat její vylučování do moči. Měnit můžeme glukózovou infuzi a parametry člověka, jako produkci a destrukci inzulínu a jeho utilizaci. Pro vyzkoušení závislosti je zde přidána možnost podat okamžitou dávku glukózy nebo inzulínu.

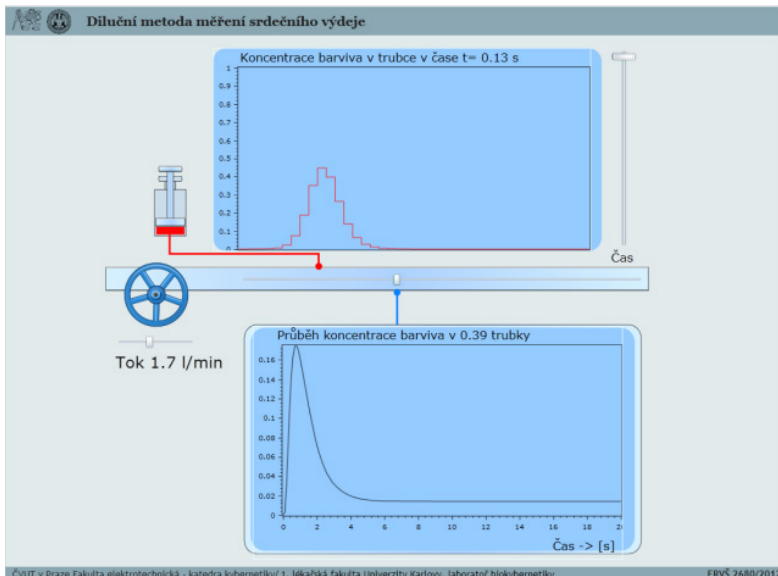


Obrázek 5 — Poruchy regulace glukózy

Měření srdečního výdeje diluční metodou

Tento simulátor studenty seznamuje s dnes již historickou metodou měření srdečního výdeje (toku krve za minutu) pomocí metody diluce barviva. Místo barviva se dnes používá chlazený fyziologický roztok, čili princip zůstává podobný, barvivo je ale názornější. Je možné demonstrovat rozložení koncentrace v daném čase v celé trubce a zároveň i na jednotlivých místech.

Model který vznikl pro tento simulátor je zajímavým řešením diskretizace parciálních rovnic, které jinak Modelica neumí řešit.



Obrázek 6 — Měření srdečního výdeje diluční metodou

Použití simulátorů ve výuce

Simulátory jsou definovány jako pomůcka pro výklad. V případě čistě e-learningového použití je nutno doplnit o “scénář”. Takový scénář byl vytvořen zatím pouze pro simulátor jednoduché cirkulace. Jde o doplňkový text, který by v případě e-learningu byl zakomponován přímo do aplikace a rozdělen do částí a kapitol podle postupu studenta. Lze to ještě zinteraktivnit použitím kvízů, nabízet nesprávné závěry a při jejich zvolení nabídnout postup, který dokazuje jejich neplatnost.

V podstatě evokujeme metodu problémového výkladu, pokud nám simulátor dává jiné výsledky, než bychom na první pohled čekali, musíme se zamýšlet, jaké závislosti ho k tomu vedou. Takové souvislosti ale musí být podepřeny výkladem, či doprovodným textem.

Postup tvorby - metodika, zkušenosti

Tvorba takových simulátorů je multidisciplinární záležitost a podílí se na ní více lidí různých profesí. Tým sestává z následujících rolí:

- hlavní návrhář
- pedagog
- modelář
- programátor
- grafik
- designer UI (uživatelského rozhraní)

První přichází na řadu **hlavní návrhář** aplikace, který definuje didaktické cíle simulátoru, zhodnotí jeho přínos a navrhne uživatelskou tvář. Zde je důležité promyslet, jaké vstupy bude uživatel měnit, co se bude animovat a co počítat z modelu, jaký výstup a jakou formou bude uživateli nabídnut a podobně a flow diagram celého simulátoru, včetně rámcového rozvržení grafických prvků (wireframe model). Hlavní návrhář bývá zpravidla odborník v tématu a zároveň by měl mít dostatečnou praxi z výuky tak, aby věděl, které části dělají studentům potíže, na co se zaměřit a co naopak lze přeskočit. Návrh aplikace je nejdůležitější fází a ostatní role s hlavním návrhářem neustále kooperují.

Modelář realizuje model podle hlavního návrhu. Model bývá zpravidla implementací již publikovaného matematického modelu. Výsledný model je obvykle vytvořen v jazyce Modelica a hlavní návrhář musí schválit jeho chování. Modelář se snaží modely udržovat přehledné a komentované pro další rozšiřování funkcí aplikace.

Úkolem role **pedagoga**, kterou často zastává přímo hlavní návrhář, je sepsat pokyny k užívání aplikace do uživatelsky pochopitelného návodu. Nikoli ale ve smyslu technického ovládní, ale spíše postupu, co na tomto simulátoru můžeme vyzkoušet. Zde se tvoří jakýsi scénář, který hlavní návrhář navrhl v obecném smyslu a teprve zde se mu dávají jasné obrysy. Je nutné přemýšlet nad didaktickým působením a přizpůsobit formu textu cílové skupině. Pokud simulátor nezamýšlíme k samostudiu, pak se můžeme bez doprovodného textu obejít a souvislosti vysvětlovat na hodině.

Programátor vytvoří kostru aplikace dle schématu designéra a propojí je s modelem. Vytvoří funkčnost a interaktivitu, ale nemusí stavět úplnou vizuální stránku, tu již přenechá grafikovi. V této fázi jsou ale již veškeré prvky aktivní a propojené s modelem. Propojení je realizováno skrz framework Bodylight, jež byl vyvinut v naší laboratoři.

Grafik dostane již de facto funkční simulátor, místo grafických komponent jsou ale stále jen statické atrapy, nebo barevné plochy. Jeho úkolem je doplnit a dokreslit prvky a animace a celkově vyladit vizuální stránku.

Nyní se již zdá, že je vše hotové, stále je ale ještě potřeba **designéra uživatelského rozhraní**. Jelikož aplikace může být spouštěna na různých rozlišeních, je potřeba obsah dynamicky přizpůsobovat, podobně jako webové stránky, je nutné vyřešit pozici či skrývání a zobrazování doprovodného textu tak, aby minimálně rušil a celkově zpříjemnit uživatelský zážitek.

Zároveň ve spolupráci s grafikou vyladí různé grafické přechody poskytující uživatelům přímou zpětnou vazbu. Tato role je rozkročená mezi grafikem a programátorem a vyžaduje zkušenosti celého týmu, neboť v této fázi se simulátor začišťuje. V hotové aplikaci se vždy snadněji najdou chyby, které se musí opravit a podobně.

Jistě vám přijde podezřelé, že jsme zatím nezmínili testery. Testerem je totiž každá následující fáze a v produkční fázi pak samotní studenti, kde následnou iterací celého procesu konvergujeme ke kvalitní výukové pomůcce.

Vize do budoucna

platformy

V další fázi vývoje frameworku bychom se chtěli zaměřit na další platformy, zejména nového rozhraní Windows Runtime. Zde spatřujeme veliký potenciál využití dotykových obrazovek a tabletů a zároveň využití na stolních počítačích s Windows 8. Provádíme průzkum, jak naše nástroje přizpůsobit i pro jiné platformy jako iOS a Android.

Vývoj s důrazem na obsah

Dále chceme pokračovat ve vývoji frameworku tak, aby jeho uživatel, to jest tvůrce obsahu, se mohl více soustředit na samotný obsah a nemusel se zabývat technickými záležitostmi. Prozkoumáme možnosti předpřipravených šablon rozmístění obsahu i grafiky tak, aby simulátory držely jednotnou filosofii ovládání. Je to výhodné jak z didaktického hlediska (student očekává jednotné chování), tak i pro tvůrce obsahu (nemusí řešit rozmístění pro každý simulátor zvlášť). Obecně se snažíme omezit všechny ostatní role a akcentovat pozici hlavního návrháře aplikace, tvůrce obsahu. Protože jedině samotný obsah je přínosem, ostatní je de-facto mechanická práce a mechanickou práci můžeme přenechat strojům.

Závěr

Vytvořili jsme sadu pěti simulátorů pro podporu předmětu Poruchy fyziologických regulací. Vytvořené simulátory se tematicky nepřekrývají a jsou určeny jako doplnění výkladu a pro následnou samostatnou práci studenta, nikoli jako samostatné aplikace. Jejich didaktický efekt budeme zkoumat v průběhu letního semestru 2012/2013.

Spolu s vytvořenými simulátory byla představena nejnovější verze frameworku Bodylight, která nám umožňuje vyvíjet simulátory velmi rychle a efektivně.

Poděkování

Práce byla podporována grantem MPO FR-TI3/8

Kontakt:

Filip Ježek

Katedra kybernetiky, FEL ČVUT

Karlovo náměstí 13

Praha 2

e-mail: filip.jezek@fel.cvut.cz

Pavol Privitzer

Ústav patologické fyziologie 1. LFUK