



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Ing. Vojtěch Kamenský, Ph.D.

Zadání laboratorního cvičení:

Tvorba modelů ve zdravotnictví

F7DIAMP - Analýza a modelování procesů zdravotnických zařízení

V rámci 1. laboratorního cvičení z předmětu *F7DIAMP - Analýza a modelování procesů zdravotnických zařízení* bude student vytvářet discrete event model v programovém prostředí R. Cílem cvičení je seznámit studenty s typickými praktickými postupy při vytváření modelů využitelných pro rozhodovací procesy ve zdravotnických zařízeních.

Laboratorní cvičení bud probíhat v laboratoři 433 Laboratoř klinického inženýrství a managementu zdravotnické techniky. Tato laboratoř byla pro potřeby nového akreditovaného programu involvována v projektu Modernizace laboratoří pro biomedicínské inženýrství (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/0002244) a předmět byl inovován v rámci projektu Biomedicínské inženýrství pro znalostní ekonomiku (CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002242).

Zadání pokrývá:

- Přehled a základy modelovacích technik v klinickém inženýrství. Modelování procesů v managementu zdravotnické techniky.
- Praktické řešení optimalizace procesů a jejich řešení, minimalizace časových prodlev, prezentace výstupů.

Obsah

Teoretické základy modelování	3
Cíle modelování	4
Postup vytváření modelu	5
Techniky modelování.....	6
Úkoly modelování.....	8
2.1 Úkol 1: Popis modelovaného systému	8
2.2 Úkol 2: Popis vstupních dat modelové struktury	8
2.3 Úkol 3: Tvorba modelu	8
2.4 Úkol 4: Prezentace výsledků modelu	8
2.5 Úkol 5: Analýza citlivosti	8
Seznam přístrojů, softwaru.....	8
Pokyny k zpracování zadaných úkolů.....	8
Doporučený software: R	9
Poděkování.....	9
Příloha – základní příkazy balíčku simmer	10



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání





Teoretické základy modelování

V modelování se snažíme za pomoci souboru aktivit vytvořit matematický (nejen) model, který bude reprezentuje strukturu a chování reálného systému (reálný objekt). Podstatou modelování je tedy náhrada zkoumaného systému jeho modelem (*přesněji: systémem, který jej modeluje*), jejímž cílem je získat pomocí pokusu s modelem informaci o původním zkoumaném systému.

V simulaci se snažíme pomocí souboru aktivit ověřit správnost modelu nebo například získat nové poznatky o činnosti reálných systémů. Simulace je tedy výzkumná technika, jejíž podstatou je náhrada zkoumaného dynamického systému jeho modelem s tím, že s modelem se experimentuje s cílem získat informace o původním zkoumaném dynamickém systému.

Pod pojmem reálný objekt si můžeme představit zkoumanou část reálného světa, která je nám zdrojem dat o chování zkoumaného systému. Můžeme rozlišovat několik kategorií: přirozené („hmatatelné“), umělé, existující, plánované.

Co s můžeme představit pod pojmem systém? Tento pojem má v různých oblastech různé definice, například můžeme zmínit:

- Objekt se vstupními a výstupními signály svázanými přes své vnitřní stavy pomocí obyčejných diferenciálních nebo diferenčních rovnic.
- Systém je množina prvků, které jsou mezi sebou provázány nějakým vztahem, respektive vazbou, a jako celek má tento systém vztah ke svému okolí.

Můžeme v základu rozdělovat systém na statický systém, který zanedbává čas (statický model – např. mapa) nebo systém dynamický, který čas nezanedbává – simulace se zabývá dynamickými systémy. Dynamický systém je v každém okamžiku své existence v jistém stavu a stav se může během plynutí času měnit – změna stavu dynamického systému.

V modelování a simulaci se chápe systém tak, že je složen z prvků. Známe-li jejich chování, můžeme snadněji porozumět tomu, co se děje v celém systému. Prvky systému, tedy prvky abstrakce na nějaké věci, mohou odpovídat komponentám, které na věci nějak poznáváme fyzicky. V dynamickém systému se může počet prvků systému během jeho existence měnit.



Prvky mají své vlastnosti – atributy. Atributy přiřazují prvkům nějaké hodnoty (jak kvantitativní, tak i kvalitativní) a ty se u prvku dynamického systému mohou v čase měnit. Stav systému je představován okamžitými hodnotami stavových proměnných, případně stavem jednotlivých prvků v daném okamžiku.

Změna hodnot jednotlivých prvků může probíhat dvojím způsobem:

- Diskrétně – hodnoty proměnných se mění nespojitě v určitých časových okamžicích.
- Spojitě – proměnné mění svoje hodnoty spojitě ve sledovaném čase.

Proč tedy využíváme modelování a simulace? Snažíme se vytvořit model za účelem pochopení chování reálných systémů, k predikci a optimalizaci reálných objektů.

Cíle modelování

- Stanovení vazeb mezi jednotlivými součástmi systému
 - Data mohou být známá nebo je nutnost zjistit z experimentálních dat.
 - Model může být použit k určení funkčních vztahů nebo např. stanovení časových závislostí a vztahů.
- Výpočet parametrů systému
 - Předpokladem pro přesné stanovení parametrů systému – nutnost kvalitních vstupních dat.
 - Různé rychlostní konstanty, množství substancí v systému (farmakodynamické modely), apod.
- Integrace informací o systému
 - Z důvodů mnoha interakcí, závislostí a zpětným vazbám, lze procesům v rozsáhlém komplexním systému porozumět pouze pomocí modelování a simulace.
 - Důsledky v rozsáhlých systémech nelze vysvětlit pouze intuicí.
- Predikce chování systému



- Simulaci odezvy na různé vstupy nebo parametry systému. S modelem je lze opakovat za různých podmínek, s různými parametry, jsou nedestruktivní, lze měnit časové měřítko.
- Identifikace rozdílů chování systémů za různých experimentálních podmínek
 - Identifikace citlivosti chování systému vůči různým změnám podmínek činnosti.
- Výuka a vzdělávání
 - Modely jsou neocenitelnou pomůckou při vysvětlování činnosti složitých systémů, jejich pomocí lze demonstrovat vlastnosti systémů, vliv různých principů, lze testovat nové teorie či hypotézy.

Na základě těchto cílů, tak můžeme díky modelování a simulaci přesněji formulovat daný problém a jeho cíle; orientovat se ve složitějších vztazích; oddělovat podstatné od nepodstatného a tím zjednodušovat pozorovaná fakta; odhalovat mechanismy jevů.

Postup vytváření modelu

Tvorbu modelové struktury můžeme rozdělit do tří úrovní: (i) úroveň koncepční, kde musíme určit, jak komplexní model by měl být, jaké jsou proměnné, a které jsou důležité; (ii) úroveň specifikace, popsání modelu pomocí kódů, diagramů, popis může zahrnovat rovnice, specifikujeme jak model „obdrží“ vstup a poslední (iii) úroveň výpočetní, kde vytváříme model pomocí speciálních počítačových programů nebo simulačního jazyků.

Postup vytváření modelu:

1. definice problému a účelu proč má být řešen
2. shromáždit veškeré informace, které lze pro řešení využít (většinou experimentální data), data ohledně dřívějších konstrukcí modelů.
3. na základě dat z předchozího bodu připravit experiment poskytující patřičná data
4. podklady pro konstrukci prvních variant modelu



5. definice systému – stanovení základních prvků systému, základních vazeb mezi prvky
6. matematická definice modelu
7. počítačový model
8. ověřování správnosti modelu (platnosti a věrnosti)

Techniky modelování

Obecné techniky modelování

Apriorní versus aposteriorní návrh modelu

- zda je model založen již na teoretických znalostech o řešeném problému (známe teoretické předpoklady) či na zkoumání experimentálních dat (aproximujeme data)
 - Apriorní – teoretické – založených teoretických předpokladech
 - Aposteriorní – empirické – vycházejí z experimentálních pozorování (model aproximuje získaná data)

Popisný versus mechanistický návrh modelu

- zda struktura modelu odpovídá struktuře reálného systému
 - Popisné zahrnují matematické funkce a rovnice, které reprezentují experimentální data. Jsou zpravidla jednodušší, zpravidla založeny na předpokladech (hypotézách), které musí být dále ověřeny.
 - Mechanistické vycházejí z procesů a mechanismů, které se uplatňují a probíhají v analyzovaném reálném systému. Nevýhodou těchto modelů, že struktura systému musí být známá. Experimenty s reálným objektem mohou být navrženy a připraveny na základě simulačních experimentů s modelem a modely mohou být použity k analýze dat získaných za různých podmínek a identifikaci diferencí. Obecně nejsou ve vztahu k prvkům, proměnným a parametrům reálného objektu

Rozsáhlé versus redukované modely

- dle složitosti modelu



Cílem návrhu modelu je nalézt co nejjednodušší model – co nejlépe respektuje experimentální data. Obecně je potřeba najít kompromis mezi požadavky na jednoduchost a přesnost modelu. Určité vlivy nelze dobře měřit nebo jinak kvantitativně postihnout, nebo jejich působení nelze dobře vyjádřit matematickým vztahem.

Modely můžeme dále klasifikovat podle různých parametrů

Modely numerické	matematicko-analytické, grafické
Modely znalostní	jazykové popisy reflektující vágnost soustavy
Modely normativní	hledají požadované, optimální stavy systému
Modely deskriptivní	popsují systém a jeho chování
Modely statické	zobrazují chování modelu bez ohledu na změny v čase – nevyužívají se na simulace
Modely dynamické	zobrazují časové průběhy probíhajících dějů
Modely deterministické	zobrazují chování systémů v ideálních podmínkách
Modely stochastické	respektují nahodilé změny
Modely stavové	zobrazují charakteristiky vnitřního stavu systému
Modely přenosové	zobrazují vztahy systému k okolí (vstup/výstup)

Pro naše další potřeby v oblasti modelování a simulací a oblasti citlivostních analýz je vhodné si zapamatovat zvláště dělení na deterministické a stochastické modely. Deterministický model vykazuje po opakování pokusu za stejných počátečních podmínek stejné chování. U stochastických modelů uvažujeme přítomnost náhody, i když jsou začáteční podmínky stejné při jednotlivých simulacích dostáváme rozdílné výsledky. Některé změny proměnných nebo některé hodnoty proměnných jsou definovány například pomocí rozdělení pravděpodobnosti.



Úkoly modelování

V programu R za využití rozšiřujícího balíčku Simmer modelujte využití přístrojové techniky v rámci diagnostického vyšetření v průběhu životního cyklu zdravotnického prostředku. V rámci simulací nezapomeňte na simulaci možných oprav a bezpečnostně technických kontrol nutných při provozu zdravotnických prostředků.

2.1 Úkol 1: Popis modelovaného systému

Popište modelovaný reálný systém provozu identifikovaného zdravotnického prostředku. Uveďte základní charakteristiky, které mohou ovlivnit provoz prostředku, spolu s možným spektrem možných diagnostických vyšetření.

2.2 Úkol 2: Popis vstupních dat modelové struktury

Popište vstupní data, které ovlivňují provoz zdravotnické techniky. Nezapomeňte na identifikace možných rozdělení pravděpodobnosti pro simulaci příchodu pacientů, doby vyšetření, času do poruchy, času do bezpečnostně technických kontrol či jiné kontroly přístroje.

2.3 Úkol 3: Tvorba modelu

Dle identifikovaných charakteristik v úkolech 1 a 2 vytvořte pomocí skriptů v balíčku Simmer návrh modelové struktury v programovém prostředí R.

2.4 Úkol 4: Prezentace výsledků modelu

Proveďte simulace ve vytvořené modelové struktuře v programovém prostředí R. Simulaci proveďte, tak ať pokryjete celý životní cyklus prostředku, tak ať simulujete všechny důležité situace při provozu zdravotnické techniky.

2.5 Úkol 5: Analýza citlivosti

Proveďte další simulace, kterými můžete ověřit spolehlivost a robustnost výsledků. V rámci simulací proveďte minimálně analýzu scénářů. Dále můžete provést jednoduchou deterministickou citlivostní analýzu či probabilistickou analýzu citlivosti.

Seznam přístrojů, softwaru

Povinné:

- 1.1.2.3.1.2 HW LabKIMZ: PC stanice+monitory

Pokyny k zpracování zadaných úkolů

V rámci zpracování zadaných úkolů lze využít i jiné rozšiřující balíčky prostředí programu R, které poskytuje další funkce pro vytvoření vhodného modelu.

Řešení zadaných úkolů odevzdejte v podobě závěrečné zprávy (protokolu), zpracované podle přiložené šablony. Tento návod bude přílohou zprávy, stejně jako skripty s Vaším řešením.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Doporučený software: R

R je programovací jazyk a prostředí určené pro statistickou analýzu dat a jejich grafické zobrazení. Jde o implementaci programovacího jazyka S pod svobodnou licencí. Funkce prostředí R lze rozšířit pomocí knihoven označovaných jako balíčky (packages). Pro vytváření modelů simulace diskrétních událostí je doporučované využít rozšiřujícího balíčku *Simmer*.

Poděkování

Laboratorní cvičení bylo vytvořeno v rámci projektu Biomedicínské inženýrství pro znalostní ekonomiku (CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_018/0002242), a bude probíhat v laboratoři 433 Laboratoř klinického inženýrství a managementu zdravotnické techniky, která byla inovována v rámci projektu Modernizace laboratoří pro biomedicínské inženýrství (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_017/0002244).



Příloha – základní příkazy balíčku simmer

Příkazy pro tvorbu modelů

Definování prostředí simulace:

- `simmer(name = "anonymous", verbose = FALSE, mon = monitor_mem(), log_level = 0)`

Definování modelu (procesu)

- `trajectory(name = "anonymous", verbose = FALSE)`

Přiřazení (zdroje)

- `seize(.trj, resource, amount = 1, continue = NULL, post.seize = NULL, reject = NULL)`

Čas práce

- `timeout(.trj, task)`

Uvolnění zdroje

- `release(.trj, resource, amount = 1)`

Definování zdrojů

- `add_resource(.env, name, capacity = 1, queue_size = Inf, mon = TRUE, preemptive = FALSE, preempt_order = c("fifo", "lifo"), queue_size_strict = FALSE, queue_priority = c(0, Inf))`

Definování vstupů (pacientů, součástek atd.)

- `add_generator(.env, name_prefix, trajectory, distribution, mon = 1, priority = 0, preemptible = priority, restart = FALSE)`

Spuštění simulace

- `run(.env, until = Inf, progress = NULL, steps = 10)`

Výpis výsledků simulace:

- `get_capacity(.env, resources)`
- `get_capacity_selected(.env, id = 0)`
- `get_queue_size(.env, resources)`
- `get_queue_size_selected(.env, id = 0)`
- `get_server_count(.env, resources)`
- `get_server_count_selected(.env, id = 0)`
- `get_queue_count(.env, resources)`



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

- `get_queue_count_selected(.env, id = 0)`
- `get_seized(.env, resources)`
- `get_seized_selected(.env, id = 0)`
- `get_selected(.env, id = 0)`
- `get_n_generated(.env, sources)`
- `get_trajectory(.env, sources)`
- `get_name(.env)`
- `get_attribute(.env, keys)`
- `get_global(.env, keys)`
- `get_prioritization(.env)`



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Reference

1. KARNON, Jonathan a Hossein HAJI ALI AFZALI. When to Use Discrete Event Simulation (DES) for the Economic Evaluation of Health Technologies? A Review and Critique of the Costs and Benefits of DES. *PharmacoEconomics* [online]. 2014, 32(6), 547–558. ISSN 1170-7690, 1179-2027. Dostupné z: doi:10.1007/s40273-014-0147-9
2. TAPPENDEN, Paul, Jim CHILCOTT, Alan BRENNAN, Hazel SQUIRES a Matthew STEVENSON. Whole Disease Modeling to Inform Resource Allocation Decisions in Cancer: A Methodological Framework. *Value in Health* [online]. 2012, 15(8), 1127–1136. ISSN 10983015. Dostupné z: doi:10.1016/j.jval.2012.07.008

