

## **RMS – skripta za II parcijalni** **(by Selmir Hasanović)**

### **Prednosti i nedostaci simulacije**

- Prednosti:
  - opis i rješavanje složenih, dinamičkih problema sa slučajnim varijablama
  - rješavanje problema koji se pojavljuju kod odlučivanja (izbor alternativa, predviđanje), uvjeti eksperimentisanja su pod potpunom kontrolom animacija rada modela
  - olakšava vrednovanje logike i dinamike rada.
- Nedostaci:
  - „there is no such thing as a free lunch“
  - dosta dug i skup razvoj modela
  - dugo i skupo izvođenje eksperimenata
  - ne dobivaju se funkcijske ovisnosti ulaz-izlaz, niti optimalna rješenja
  - potrebno je poznavanje većeg broja metoda i alata
  - vrednovanje modela je složeno i zahtijeva dodatne simulacijske eksperimente.

### **Diskretne simulacije**

- Najviše korištene metode simulacije poslovnih procesa:
  - **diskretna simulacija** služi detaljnoj analizi sistema s redovima čekanja
  - **sistemska dinamika** omogućuje modeliranje sistema s povratnom spregom.
- Simulacija sa diskretnim događajima je proces kodiranja ponašanja kompleksnih sistema po sekvencama dobro definisanih događaja. U ovom kontekstu, događaj predstavlja specifičnu promjenu u stanju sistema u specifičnom trenutku u vremenu.

### **Osnovni pojmovi diskretne simulacije**

- Diskretna simulacija opisuje promjene stanja koje se odvijaju diskontinuirano u vremenu.
- Promjene stanja su posljedica međudjelovanja među objektima sistema.
- Simulacijski modeli prikazuju objekte sistema, njihove atribute i međudjelovanje među njima.
- Osnovni pojmovi su:
  - entitet
  - atribut
  - stanje
  - događaj
  - resursi
  - lista procesa
  - aktivnosti i zastoji.
- Komponente simulacija diskretnih događaja:
  - sat
  - lista događaja
  - generator slučajnih brojeva
  - statistika
  - uslov za završetak.

## Slučajne varijable

- Zbog postojanja slučajnih varijabli nužno je koristiti se teorijom vjerovatnosti i statistikom prilikom:
  - generiranja slučajnih varijabli
  - analize ulaznih podataka
  - planiranja simulacijskih eksperimenata
  - analize izlaza simulacijskih eksperimenata.
- **Slučajni broj** – kontinuirana slučajna varijabla s uniformnom razdiobom u segmentu  $[0,1]$ . **Slučajne varijable** s bilo kojom razdiobom vjerovatnosti mogu se generirati pomoću transformacija slučajnih varijabli  $U(0,1)$ .
- Kako se mogu generirati slučajni brojevi:
  - **fizički pribori**
    - kocka, rulet, brzo rotirajući disk
    - nedostaci: komplicirani, mijenjaju razdiobe, nemoguće ponoviti isti niz slučajnih brojeva
  - **korištenje iracionalnih brojeva**
    - znamenke konstanti:  $e$ ,  $\pi$
    - nedostaci: dosta slabe karakteristike slučajnosti.

## Diskretna simulacija koristi se za:

- detaljan opis strukture sistema i njegovih elemenata
- ponašanje sistema opisuje se na diskontinuirani način, u obliku slijeda različitih događaja i aktivnosti
- modeli oponašaju stvarne sisteme i procese, a objekti u modelima predstavljaju objekte iz stvarnih sistema ili procesa
- prvenstveno se koristi za modeliranje i analizu sistema s redovima čekanja na resurse sistema.

## Događaji u diskretnim simulacijama

- Događaj je promjena stanja sistema koja se dešava u jednom trenutku. Događaj može nastupiti:
  - zbog ulaska ili izlaska entiteta iz sistema
  - zbog promjene vrijednosti atributa entiteta kao posljedica početka ili završetka međudjelovanja među entitetima.

## Konceptualni simulacijski modeli

- Značaj konceptualnih simulacijskih modela:
  - izdvajanje najvažnijih karakteristika sistema
  - opisivanje elemenata sistema i njihovih interakcija
  - olakšavanje komunikacije modelara i korisnika
  - pomoć u razvoju računarskog modela (programa).

## Vrednovanje modela

- Vrednovanje modela ima za cilj eliminaciju različitih vrsta grešaka modela:
  - greške u logici modela
  - matematičkim relacijama
  - programu
  - ulaznim podacima
  - načinu korištenja modela
  - obradi i interpretaciji rezultata simulacijskih eksperimenata.

- U tu svrhu koriste se različite:
  - statističke tehnike
  - računarske tehnike
  - procjene eksperata
  - grafički prikaz izlaznih varijabli modela
  - animacija rada modela.

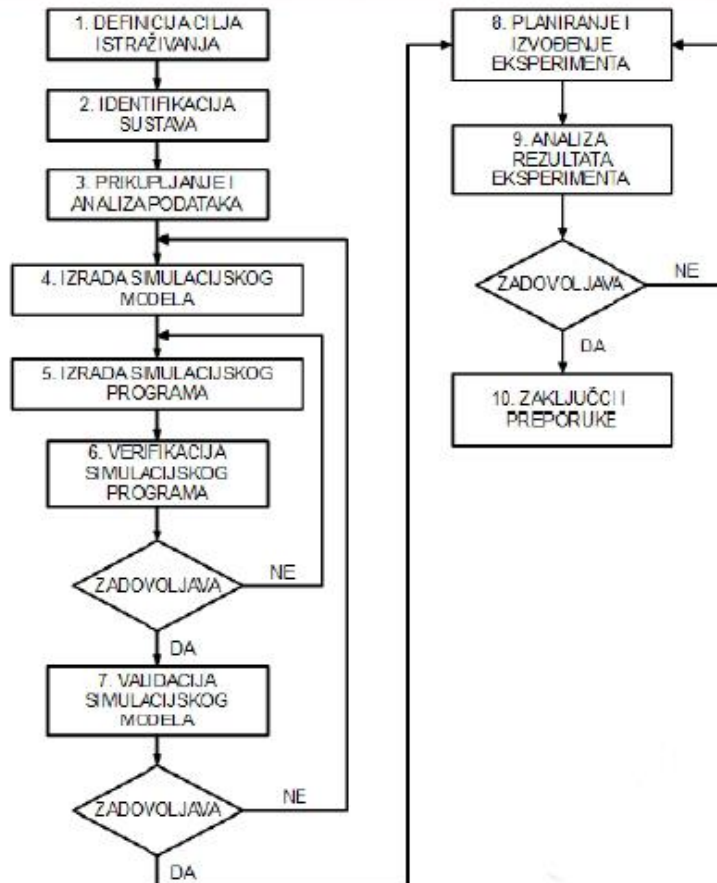
### **Analiza rezultata simulacije**

- Analiza rezultata simulacije treba da uključi **verifikaciju i validaciju modela**.
- Verifikacija – debugging (otklanjanje grešaka).
- Validacija – model = stvarni svijet.
- Četiri mogućnosti za postojanje modela:
  - neverificiran, nije validan
  - neverificiran, nije validan
  - verificiran, nije validan
  - verificiran, validan.
- Tehnike za verifikaciju modela:
  - Top-down modularni dizajn
    - podijeli i pobijedi
    - moduli = subrutine, podprogrami, procedure
    - moduli imaju dobro definisane interfejse
    - mogu biti neovisno izgrađeni, debugirani i održavani
    - top-down dizajn: hijerarhijske strukture, moduli i podmoduli.
  - Anti-bugging
  - Struktuirani walk-through
    - objašnjavanje koda nekoj drugoj osobi ili grupi
    - treba da funkcioniše čak i kada osoba koje je razvijala model nije prisutna.
  - Deterministički modeli
    - koristi konstantne vrijednosti
    - naziva se još i direktno testiranje
    - jednostavni testni ulazi
    - specifične sekvence koje uzrokuju da model ulazi u ekstremna operacionalna stanja
    - nedostaci: vremenski zahtijevni, nekada potrebno programiranje, teško razmišljati o svim verifikacijskim slučajevima, održavanje jako teško.
  - Pokretanje pojednostavljenih slučajeva
  - Tragovi
    - trace = vremenski određena lista događaja i varijabli
    - nekoliko nivoa detalja: tragovi događaja, tragovi procedura, tragovi varijabli, korisnik bira detalje što uključuje pokretanje i stopiranje.
  - On-line grafički prikazi
  - Test kontinuiranosti
  - Degeneracijski test
  - Test konzistentnosti
  - Neovisnost od seed-a.

- Tehnike validacije za jedan problem možda neće biti primjenljive za drugi problem. Aspekti koje treba validirati:
  - pretpostavke
  - vrijednosti ulaznih parametara i distribucija
  - izlazne vrijednosti i zaključci.

Tehnike:

- ekspertaska intuicija
- mjerenja stvarnih sistema
- teoretski testovi.
- Dijagram toka simulacijskog procesa:



### Kompjuterska simulacija

- Simulatori su kompjuterski modeli stvarnih ili predloženih proizvoda ili događaja, koji se ponašaju drugačije u zavisnosti od ulaznih podataka koji se unesu. Na ovaj način proizvodi ili događaji se mogu testirati u virtuelnom okruženju prije proizvodnje tako da problemi u dizajnu mogu biti identificirani i modificirani na vrijeme.

### Razlika između animacije i simulacije

- Simulacija je interaktivna – parametri se mogu mijenjati i njihovi efekti se mogu analizirati.
- Animacija nije interaktivna – promjene se ne mogu unositi od strane nekoga ko posmatra animaciju s ciljem promjena na slici.

### Bitne činjenice za vizualiziranje simulacije:

- pojasniti ideje, metode i važne činjenice za simulaciju
- treba da budu softverski nezavisna, ali određeni softveri rade bolje za konkretne primjene od drugih
- za početak koncentrisati se na jednostavan model procesnog sistema:
  - dekomponovati problem
  - utvrditi terminologiju
  - napraviti ručnu simulaciju
  - osnovne statističke metode
  - prikaz simulacijskog izučavanja.

### Dijelovi simulacijskog modela

- **Entiteti**
  - „igrači“ koji se pokreću uokolo, mijenjaju status, pod uticajem su i utiču na druge entitete
  - dinamički objekti – kreiraju se, pomjeraju, napuštaju (možda)
  - uobičajeno predstavljaju prave stvari
  - može imati „lažne“ entitete za modeliranje „trikova“
  - obično ima više realizacija koje su moguće
  - može da ima više različitih tipova entiteta konkurentno
  - obično je potrebno prvo identificirati entitete prilikom kreiranja modela.
- **Atributi**
  - karakteristike svih entiteta: opisivati, razlikovati
  - svi entiteti imaju isti skup atributa i različite vrijednosti za različite entitete (npr. vrijeme dolaska, vrijeme zadržavanja, prioritet, boja)
  - vrijednost atributa je povezana sa specifičnim entitetom
  - slično kao lokalne varijable.
- (Globalne) **varijable**
  - reflektuju se za mnogo različitih stvari:
    - vrijeme putovanja između svih dijelova sistema
    - broje dijelove u sistemu
    - simulacijski sat
  - nisu svezane za određeni entitet
  - entiteti mogu pristupiti ili mijenjati varijable.
- **Resursi**
  - entiteti se bore za ljude, opremu i prostor
  - entitet koristi resurse, nakon korištenja prestaje trenutna potreba za resursom
  - može se posmatrati: resurs je dodijeljen entitetu i entitet ne pripada resursu
  - resurs može da ima različite jedinice kapaciteta
  - broj jedinica resursa može biti promijenjen tokom simulacije.
- **Redovi**
  - stavljanje entiteta da čekaju kada ne mogu da se kreću ili kada je resurs zauzet
  - imaju svoja imena i vezana su za određeni resurs
  - mogu da imaju konačni kapacitet da se modelira ograničeni prostor – treba modelirati šta se dešava kada je red već pun
  - uobičajeno se prati dužina reda i čekanja u njemu.
- **Statistički akumulatori**
  - varijable koje „posmatraju“ šta se dešava

- zavise od izlaznih performansi
- „pasivni“ u modelu – ne učestvuju, samo posmatraju
- na kraju simulacije koriste se za izračunavanje, s ciljem mjerenja izlaza performansi
- statistički akumulatori za jednostavan procesni sistem:
  - broj dijelova koji su do sada proizvedeni
  - ukupno vrijeme čekanja u redu do sada
  - broj dijelova koji su prošli kroz red
  - maksimalno vrijeme u redu do određenog trenutka
  - maksimalno vrijeme provedeno u sistemu do određenog trenutka
  - ukupno vrijeme provedeno u sistemu
  - oblasti do trenutka ispod krivulje koja pokazuje provedeno vrijeme u redu  $Q(t)$
  - maksimalno  $Q(t)$  do sada
  - oblast ispod krivulje vremena koja pokazuje zauzetost servera  $B(t)$ .

#### **Poređenje alternativa**

- Uobičajeno je da se simulacija koristi ne samo za jedan model „konfiguracije“.
- Često se porede alternative, odabir ili traženje one najbolje (koristeći neki od kriterija).
- Jednostavan procesni sistem: šta će se desiti ako se udupla brzina dolazaka?
  - skraćivanje međudolazaka za pola
  - vraćanje modela za uduplano vrijeme dolazaka
  - npr. napraviti pet replikacija.

#### **Pregled studije simulacije**

- razumjeti sistem
- ciljevi moraju biti jasni
- formulacija reprezentacije modela
- prenošenje u softver za modeliranje
- verificiranje programa, tj. modela
- validacija modela
- eksperimenti sa dizajnom
- praviti dovoljan broj simulacija
- analizirati, ući u srž simulacije, dokumentovanje rezultata.

#### **Optimizacija**

- Optimizacija daje odabir najpovoljnijeg rješenja iz skupa mogućih rješenja.
- U matematičkom smislu, to je proces koji daje ekstremnu vrijednost (minimum ili maksimum) u zavisnosti od funkcije cilja.

#### **Optimizacija sistema i procesa**

- Potreba za optimizacijom – kada dvije (ili više) karakteristike procesa različito utiču na posmatranu promjenljivu, djelujući jedna nasuprot drugoj – kompromisni zadatak.
- Oblasti:
  - optimizacija pri projektovanju sistema
  - optimizacija operativnih parametara procesa
  - optimizacija upravljanja procesima.

## Metode i klase optimizacije

- Podjela po broju promjenljivih koje se optimizuju:
  - jednoparametarska
  - višeparametarska.
- Podjela po broju funkcija cilja, odnosno kriterijuma:
  - jednoobjektna
  - višeobjektna.
- Podjela po zadatku optimizacije:
  - statička
  - dinamička.
- Metode optimizacije:
  - linearno i nelinearno programiranje
  - dinamičko programiranje
  - stohastičko programiranje
  - optimizacija upravljanja.

## Analiza modela

- Kada se model jednom razvije i testira, može se koristiti za „what-if“ analize – predviđanje ponašanja sistema u slučaju mijenjanja vrijednosti ulaza.
- Cilj je ispitivanje robusnosti procesa na osnovu postavljenog matematičkog modela, kao i ispitivanje kvaliteta modela.
- Analizu modela treba razlikovati od validacije i verifikacije modela, koja se zasniva prvenstveno na poređenju rezultata modela sa eksperimentima ili na fizičkoj konzistentnosti rezultata modela.
- Analize modela mogu da daju nove informacije o posmatranom sistemu i procesu i njegovom očekivanom ponašanju.
- Analize modela se mogu koristiti za optimalno planiranje fizičkih ili numeričkih eksperimenata.
- Osnovne tehnike su analiza nepouzdanosti i analiza osjetljivosti modela.

## Analiza osjetljivosti

- Tehnika ispitivanja uticaja promjene ulaznih veličina ili parametara modela na rezultate modela.
- Cilj analize je da se ulazne veličine modela poredaju po značaju uticaja na rezultate.
- Analiza osjetljivosti može da se koristi za:
  - pojednostavljenje i poboljšanje modela
  - ispitivanje robusnosti pretpostavki modela
  - analizu šta-ako, odnosno kreiranje različitih scenarija
  - potvrdu kvaliteta modela.
- Analiza također obezbjeđuje informacije o:
  - interakciji između parametara i faktora
  - regionima optimalnosti ili nestabilnosti.
- Postoji veliki broj metoda, a po pristupu se mogu svrstati u dvije grupe: determinističke i stohastičke.

## Redukcija modela

- Često su modeli, a naročito dinamički, vrlo složene strukture, pa je rješavanje zahtjevno po pitanju utroška računarskog vremena i neophodne memorije.
- Moguće rješenje je da se generiše značajno jednostavniji model koji daje esencijalni opis sistema, kao i detaljniji model.

- Redukcija modela – matematički model za aproksimaciju sistema običnih diferencijalnih jednačina (ODJ) u model manjih dimenzija:
  - cilj metode je nalaženje manje-dimenzionalnog podsistema
  - uslov je da za više-dimenziono stanje sistema postoji manje-dimenzioni podsistem
  - više-dimenzioni sistem se onda projektuje u podsistem i tako se dobija manje-dimenziona aproksimacija.

### **Metode redukcije modela**

- U zavisnosti od oblika ODJ, metode se dijele na:
  - linearne – za linearne ODJ prvog reda
  - drugog reda – za linearne ODJ drugog reda
  - parametarske – za linearne ODJ kada je neophodno ne mijenjati neki parametar u matricama
  - slabo nelinearne – za nelinearne ODJ u kojima je linearnost limitirana na kvadratnu i kubnu funkciju
  - nelinearne – za nelinearne ODJ u općem slučaju.
- Parcijalne diferencijalne jednačine se metodama redukcije mogu prevesti u sistem običnih diferencijalnih jednačina.
- Kod parcijalnih diferencijalnih jednačina, koje se rješavaju diskretizacijom, metodom redukcije se može smanjiti veliki broj neophodnih čvorova te time ubrzati konvergencija.

### **Eksperimentalne kontrole**

- Eksperimentalne kontrole su mehanizmi u nauci koji imaju mogućnost da eliminišu strane (neželjene) faktore koji mogu uticati na rezultate eksperimenta.
- Kreiranjem rezervnog seta rezultata koji nije bio pod neželjenim uticajem, naučnici su u prilici da izoliraju određen fenomen poredeći testnu grupu sa grupom gdje su korištene određene kontrole.

### **Kontrola u eksperimentu**

- Kontrola je dio eksperimenta koji se koristi kao standard za poređenje.
- Kontrola je potrebna zato što je to nepromijenjeni dio eksperimenta koji se koristi da se detektuju efekti skrivenih varijabli.

### **Veza eksperimenata sa simulacijama**

- Simulacije su toliko realistične da mogu predvidjeti rezultate tradicionalnih eksperimenata.
- Računarske metode su neraskidivo vezane uz eksperimentalne podatke.
- Sa druge strane, eksperimentalna potvrda rezultata je neophodna.
- Računarske simulacije i metode moraju ići ruku pod ruku s eksperimentom, ali vrijedi i obrnuto.
- Eksperimenti često trebaju računarske simulacije da dopune zaključke koji su potrebni za optimizaciju rada fizičkih sistema.

### **Kvalitativna opažanja i rezultati**

- Kvalitativna opažanja su ona opažanja koja neko ko provodi eksperiment doživljava tokom eksperimenta. To su identifikatori trendova u podacima.

### **Kvantitativna opažanja i rezultati**

- Kvantitativna opažanja su brojčane vrijednosti u formi sirovih podataka prikazanih u tabelama, grafikonima ili izfiltrirani u Ključne Indikatore Performansi (KPI).



## Rezultati i zaključci

- Kada se eksperiment završi, potrebno je uporediti i izvući zaključke o tome šta se dogodilo s kontroliranim ili izmanipuliranim promjenljivim grupama podataka.
- Razlike u rezultatima, ako ih ima, će odgovoriti na pitanje istraživanja.
- Na kraju eksperimenta, odgovor će dokazati ili opovrgnuti hipoteze nakon što je grupa kontroliranih varijabli olakšala odgovore na specifična pitanja istraživanja.
- Bez kontrole, ne bi postojalo ništa sa čime bi se mogli uporediti rezultati eksperimenta i bilo bi nemoguće odgovoriti na postavljena pitanja.

