

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

Postoje četiri osnovne vrste simulacionih modela:

1. **Monte Karlo** simulacija je statička simulacija kod koje se u rešavanju problema koristi stvaranje uzoraka iz raspodela slučajnih promenljivih, a problemi mogu biti i determinističkog i stohastičkog oblika.

Tipovi primene Monte Karlo simulacije:

· *deterministički problemi koje je teško ili skupo rešavati.*

Pr: računanje integrala koji se ne mogu izračunati analitički. Generiše se niz slučajnih tačaka x_j , y_j sa jednakim verovatnoćama unutar određenog pravougaonika i zatim ispituje koliko je generisanih tačaka unutar površine koja odgovara integralu.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

- *složeni fenomeni koji nisu dovoljno poznati.* Karakteristika je da nije poznat način uzajamnog delovanja između elemenata već su poznate samo verovatnoće ishoda, koje se koriste za izvođenje niza eksperimenata koji daju uzorke mogućih stanja zavisnih promenljivih. Statističkom analizom dobija se raspodela verovatnoća zavisnih promenljivih. Primena kod analiziranja društvenih ili ekonomskih fenomena.
- *statistički problemi koji nemaju analitička rešenja.* Pr: testiranje novih hipoteza, procena kritičnih vrednosti. Prilikom rešavanja takvih problema takođe se koristi generisanje slučajnih brojeva i promenljivih.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

2. **Kontinualna simulacija** (dinamička) se koristi za dinamičke probleme kod kojih se promenljive stanja menjaju kontinualno u vremenu. Postoje dve klase problema koji se rešavaju ovom metodom:

- jednostavni problemi koji su opisani detaljno i kod kojih su promene 'glatke', opisuju se diferencijanim jednačinama. To su problemi iz fizike, biologije i inženjerstva.

- problemi koji nastaju opisom veoma složenih sistema, u kom se niz elemenata sistema redukuje na manji broj komponenata a promene u sistemu se aproksimiraju konstantnim brzinama promene. To su najčešće problemi iz ekonomije i društvenih nauka.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

Postoje tri tipa ovih simulacionih modela:

- *modeli koji se opisuju običnim diferencijanim jednačinama* (postoji jedna nezavisna promenljiva). To su problemi kretanja, fizički, hemijski, biološki i drugi procesi gde se radi o jednoj nepoznatoj funkciji $y = y(t)$ jedne nepoznate promenljive (t). Izračunavaju se matematičkim jednačinama u kojima se pored nezavisne promenljive i nepoznate funkcije javlja i izvod te funkcije (dy / dt). To su obične diferencijalne jednačine.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

- *modeli koji se opisuju sistemima parcijalnih diferencijalnih jednačina.* Postoji više od jedne nezavisne promenljive po kojima se traže izvodi zavisne promenljive. Njima se opisuju problemi aerodinamike, hidrodinamike i meteorologije.
- *modeli dinamike sistema.* Modeluju sisteme sa povratnom vezom.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

3. **Simulacija diskretnih događaja** (dinamička simulacija) se bavi modelovanjem sistema koji se mogu predstaviti skupom događaja. Događaj je diskretna promena stanja činilaca sistema. Nastupa u određenom trenutku a te promene stanja činilaca se dešavaju diskontinualno u vremenu, tj. samo u nekim trenucima. Između dva uzastopna događaja stanje sistema se ne menja.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

4. **Mešovita simulacija (kontinualno - diskretna)** se uvodi da bi se modelovali (simulirali) oni sistemi koji sadrže procese i događaje. Procesi teku kontinualno dok događaji dovode do diskontinuiteta u ponašanju sistema. Tako je razvijena mešovita simulacija koja integriše diskontinualnu i kontinualnu. To se postiže uvođenjem dva tipa događaja. 1. *Vremenski događaji* koje generiše mehanizam upravljanja događajima. Oni mogu da izazovi trenutnu promenu stanja kontinualne promenljive. 2. *Događaji stanja* koje aktivira mehanizam pomaka vremena sa konstantnim priraštajem. Oni mogu da aktiviraju događaje diskretnog dela modela. Poznati simulacioni jezici za ovu simulaciju su GASP i SLAM.

VRSTE SIMULACIONIH MODELA

Pri izboru simulacionog modela najvažnije je da model bude što jednostavniji. Jednostavnost je bitna kako zbog njegovog razvoja (jer utiče na cenu izrade modela, količinu potrebnih resursa) tako i zbog potrebe da implementacija tog modela bude što jednostavnija, tj. da ga korisnik lakše razume.

Naravno, jednostavnost modela ne sme ići na štetu upotrebljivosti modela za postavljene ciljeve.

Klasifikacija modela

1. Klasifikacija u odnosu na promenljive

Kod svakog modela moguće je identifikovati opisne promenljive značajne za njegovo razumevanje, opis i upravljanje. Opisne promenljive se dele na one koje je moguće i one koje je nemoguće posmatrati (meriti). Promenljive mogu biti ulazne, izlazne i promenljive stanja. Svaka promenljiva ima svoj opseg (domen) i jednu funkciju kojom se opisuju te promene u funkciji vremena.

Klasifikacija modela

U pogledu promenljivih stanja:

- **Modeli bez memorije (trenutne funkcije)** nemaju ni jednu promenljivu stanja. Njihove izlazne promenljive zavise od ulaznih u trenutku posmatranja.
- **Modeli sa memorijom** imaju barem jednu promenljivu stanja.

Klasifikacija modela

U pogledu ulaznih promenljivih:

- **Autonomni** su bez ulaznih promenljivih.
- **Neautonomni** su sa ulaznim promenljivim. Oni se dele na modele sa i bez izlaznih promenljivih.

U pogledu izlaznih promenljivih:

- **Zatvoreni** modeli su autonomni modeli koji ne sadrže izlaznu promenljivu.
- **Otvoreni** modeli su autonomni modeli sa izlaznim promenljivim i svi neautonomni modeli.

Klasifikacija modela

2. Klasifikacija u odnosu na prirodu opsega vrednosti promenljivih modela

Pod opsegom vrednosti promenljivih se podrazumeva skup svih vrednosti koje može da uzme promenljiva. Vrednosti promenljivih mogu biti iz prebrojivog (diskretnog) i neprebrojivog (kontinualnog) skupa.

U skladu sa tim razlikujemo tri klase modela:

Klasifikacija modela

1. *Modeli sa diskretnim stanjima* – sve opisne promenljive uzimaju vrednost iz skupa diskretnih vrednosti.
2. *Modeli sa kontinualnim stanjima* – sve opisne promenljive uzimaju vrednosti iz podskupa realnih brojeva (iz kontinualnog skupa).
3. *Modeli sa mešovitim stanjima* – neke opisne promenljive uzimaju vrednosti iz diskretnog a ostale iz kontinualnog skupa.

Klasifikacija modela

3. Klasifikacija u odnosu na prirodu opsega vrednosti promenljive “vreme”

Skup vrednosti promenljive ‘vreme’ može biti prebrojiv ili neprebrojiv. Stoga razlikujemo:

1. Modele sa **kontinualnim** vremenom (vreme kontinualno teče)

- sa kontinualnim promenama stanja;
- sa diskretnim promenama stanja (promene stanja se dešavaju samo u diskretnim skokovima).

2. Modeli sa **diskretnim** vremenom (vreme se povećava u inkrementima koji ne moraju biti ekvidistantni)

- sa kontinualnim promenama stanja;
- sa diskretnim promenama stanja.

Klasifikacija modela

4. Klasifikacija u odnosu na vremensku zavisnost modela

1. **Varijantan** (vremenski promenljiv) model – ako struktura modela zavisi od vremena.
2. **Invarijantan** (vremenski nepromenljiv) model – ako struktura modela ne zavisi od vremena.

Klasifikacija modela

5. Klasifikacija u odnosu na determinizam

1. **Deterministički** modeli – vrednost promenljivih stanja i ulaznih promenljivih u jednom trenutku jednoznačno određuju vrednosti promenljivih stanja u sledećem trenutku. Ovakvi modeli ne sadrže slučajne promenljive.
2. **Nedeterministički** (stohastički) modeli – postoji bar jedna slučajna promenljiva.

Klasifikacija modela

6. Klasifikacija u odnosu na predviđanje budućnosti

1. **Anticipatorski** modeli koji za izračunavanje promenljivih stanja uzimaju u obzir i buduće vrednosti ulaznih promenljivih.
2. **Neanticipatorski** modeli kod kojih se za izračunavanje promenljivih stanja neuzimaju u obzir buduće vrednosti ulaznih promenljivih.

Klasifikacija modela

7. Klasifikacija u odnosu na linearnost

Linearni sistemi menjaju stanja i daju izlaze poštujući zakonitosti linearnih transformacija. Jedna linearna transformacija $L : U \rightarrow Y$ zadovoljava princip superpozicije ako za u_1, u_2 iz skupa U i c_1, c_2 važi:

$$L[c_1 u_1(t) + c_2 u_2(t)] = c_1 L[u_1(t)] + c_2 L[u_2(t)]$$

Odnosno, ako su ulazi u sistem: $u_1(t)$ i $u_2(t)$, izlazi iz sistema $y_1(t)$ i $y_2(t)$, a c_1 i c_2 skalari, tada važi:

$$u(t) = c_1 u_1(t) + c_2 u_2(t) \text{ i } y(t) = c_1 y_1(t) + c_2 y_2(t)$$

Klasifikacija modela

8. Klasifikacija prema vrsti računara

Tri vrste računara se mogu koristiti za simulaciju: **analogni**, **digitalni** i **hibridni**. Skoro svi modeli se mogu simulirati na digitalnim i hibridnim računarima dok se na analognim računarima mogu simulirati samo kontinualni modeli sa kontinualnim vremenom.

Klasifikacija modela

9. Klasifikacija u odnosu na formalni opis modela

Formalni opis modela podrazumeva precizan, matematički opis modela.

Modeli sa kontinualnim promenama vremena se opisuju diferencijalnim jednačinama i spadaju u kontinualne vremenske modele. Oni ne moraju da menjaju svoje stanje kontinualno.

Diskontinualni modeli su oni modeli u kojima je najmanje jedna promenljiva stanja i/ili njen izvod diskontinualan.

Diskretni modeli menjaju svoje stanje u diskontinualnim vremenskim trenucima.

FORMALNA SPECIFIKACIJA MODELA

Teorija skupova omogućava konstruisanje formalizama koji se koriste za opisivanje objekata modela.

Svaka klasa se može predstaviti odgovarajućim formalizmom koji definiše njene parametre i ograničenja. Da bi se definisao poseban objekat neke klase u okviru nekog formalizma, parametrima formalizma dodeljuju se vrednosti koje zadovoljavaju ograničenja.

Jedan objekat iz klase zadate formalizmom, definiše se na taj način što se parametrima dodeljuju konkretne vrednosti koje zadovoljavaju ograničenja. Struktura formalizma odnosi se kako na parametre, tako i na ograničenja.

FORMALNA SPECIFIKACIJA MODELA

Klase objekata su najčešće povezane tako da se te veze mogu formalizovati kao preslikavanje iz jedne klase u drugu. Posebno su interesantne tri vrste takvih preslikavanja: apstrakcija, asocijacija i specifikacija.

Apstrakcija je proces kojim se vrši razdvajanje ‘bitnih’ od ‘nebitnih’ osobina, kako bi se ukazalo na suštinu nekog objekta. To je preslikavanje objekta jedne klase u drugu, manje složenu klasu. Izvorna klasa naziva se *konkretnom*, a ciljna *apstraktnom*.

Asocijacija je vrsta preslikavanja od višeg ka nižem nivou u hijerarhiji specifikacije sistema. Inverzno preslikavanje nazivamo *realizacijom* ili *implementacijom*.

FORMALNA SPECIFIKACIJA MODELA

Specifikacija. □ Za datu klasu moguće je definisati podklase, uvođenjem novog formalizma za svaku podklasu, čije je objekte moguće koristiti unutar novih formalizama. Da bi uspostavili veze između objekata različitih podklasa potrebno je definisati preslikavanje koje prevodi jedan poseban formalizam u drugi, generalniji. Ako takvo preslikavanje postoji, onda svi koncepti i akcije koji se mogu primeniti nad objektima definisanim u generalnom formalizmu, primenjivi su i nad objektima definisanim u posebnom formalizmu.

FORMALNI MODEL ULAZNO – IZLAZNOG SISTEMA

Posmatrajmo ulazno – izlazni sistem kao skupovnu strukturu:

$$M = \{T, U, \Omega, S, Y, \delta, \lambda\}$$

gde je:

T vremenska baza koja je skup vrednosti vremena u modelu na osnovu kojih se planira redosled događaja.

Domen vremenske baze je skup celih I^+ ili realnih brojeva R .

FORMALNI MODEL ULAZNO – IZLAZNOG SISTEMA

U skup ulaza je deo interfejsa preko kojeg okruženje utiče na sistem.

Domen je najčešće R_n za neko n iz I^+ , koje predstavlja broj ulaznih promenljivih. Domen može biti $U_m U[\emptyset]$, gde je U_m skup eksternih događaja a \emptyset je prazan skup.

FORMALNI MODEL ULAZNO – IZLAZNOG SISTEMA

Ω - skup ulaznih segmenata opisuje oblik ulaza u sistem za neki vremenski period.

Određen je okruženjem sistema i definisan je preslikavanjem $\omega: \{t_0, t_1\} \rightarrow U$, gde je $\{t_0, t_1\}$ interval vremenske baze između početnog i krajnjeg trenutka. Skup svih ulaznih segmenata naziva se (U, T) , znači ω je podskup od (U, T) . U praksi je Ω skup kontinualnih segmenata T iz R i U iz R^n ili skup diskretnih segmenata U iz U_m i T iz R . Segment diskretnih ulaznih događaja je preslikavanje $\omega: \{t_0, t_1\} \rightarrow U_m \cup \{\emptyset\}$, takvo da $\omega(t) = \emptyset$ isključuje mogućnost ograničenog skupa događaja $\{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n\}$. Kada je T element I^+ , Ω predstavlja skup konačnih sekvenci.

FORMALNI MODEL ULAZNO – IZLAZNOG SISTEMA

S - skup internih stanja predstavlja memoriju sistema, tj. uticaj prethodnih događaja na njegov sadašnji i budući odziv. Od izbora internih stanja i njihovog karaktera zavisi struktura modela.

δ - funkcija prelaza stanja je preslikavanje $\delta: S \times \Omega \rightarrow S$.

Y - skup izlaza predstavlja deo interfejsa kojim sistem utiče na okruženje.

λ - funkcija izlaza predstavlja preslikavanje $\lambda: S \rightarrow Y$ koje povezuje pretpostavljeno stanje sistema sa uticajem sistema na njegovu okolinu. Opštija funkcija izlaza je preslikavanje $\lambda: S \times U \times T \rightarrow Y$. Često λ nije jednoznačno preslikavanje, tako da se iz okruženja, stanje sistema ne može direktno posmatrati.

Kontrolna pitanja

16. Navedite četiri osnovne vrste simulacionih modela.
17. Šta je Monte Karlo simulacija?
18. Kada se koristi Monte Karlo simulacija?
19. Šta je kontinualna simulacija?
20. Navedite tipove kontinualnih simulacija.
21. Šta je simulacija diskretnih događaja?
22. Šta je mešovita simulacija?
23. Na koji parametar moramo obratiti pažnju pri izboru simulacionog modela?
24. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na promenljive?

Kontrolna pitanja

25. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na prirodu opsega vrednosti promenljivih modela?
26. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na prirodu opsega vrednosti promenljive “vreme”?
27. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na vremensku zavisnost modela?
28. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na determinizam?
29. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na predviđanje budućnosti?
30. Kako se klasifikuju modeli u odnosu na formalni opis modela?
31. Šta je apstrakcija?