

# Performance Modeling of Computer Systems and Networks

Prof. Vittoria de Nitto Personè

## Simulation introduction

Università degli studi di Roma Tor Vergata  
Department of Civil Engineering and Computer Science Engineering

Copyright © Vittoria de Nitto Personè, 2021  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



1

Simulation introduction

## Performance evaluation techniques

Computational and mathematical techniques to *model*, *simulate*  
and *analyze* the performance of *stochastic systems*

**Modeling:** conceptual framework describing a system

**Simulate:** perform experiments using computer  
implementation of the model

**Analyze:** draw conclusions from output

*Simulation models*

*Analytical models*

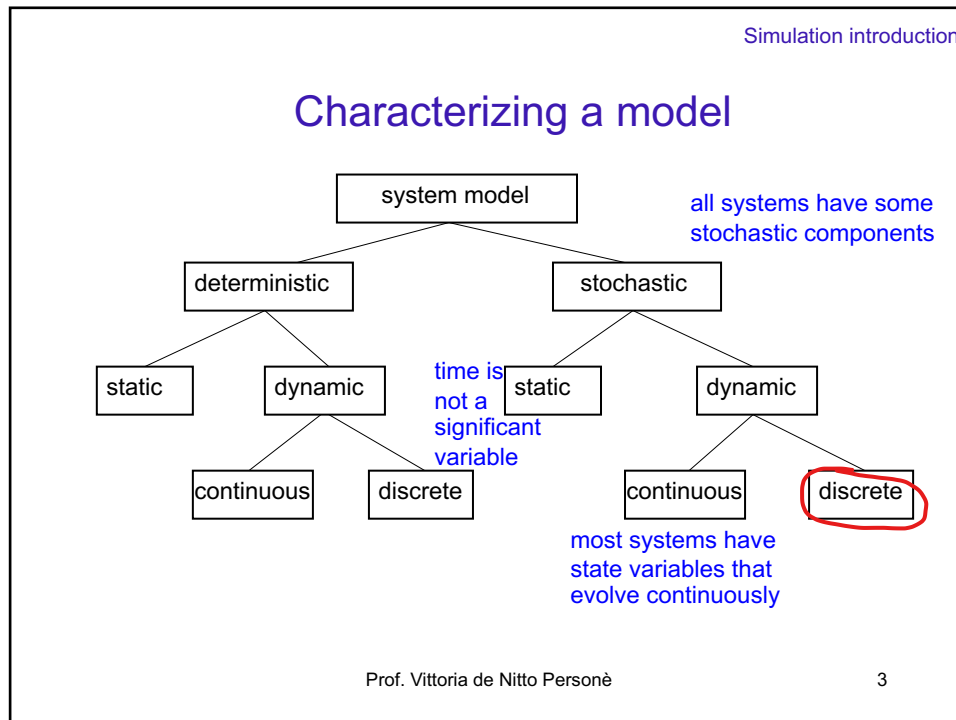
Prof. Vittoria de Nitto Personè

2

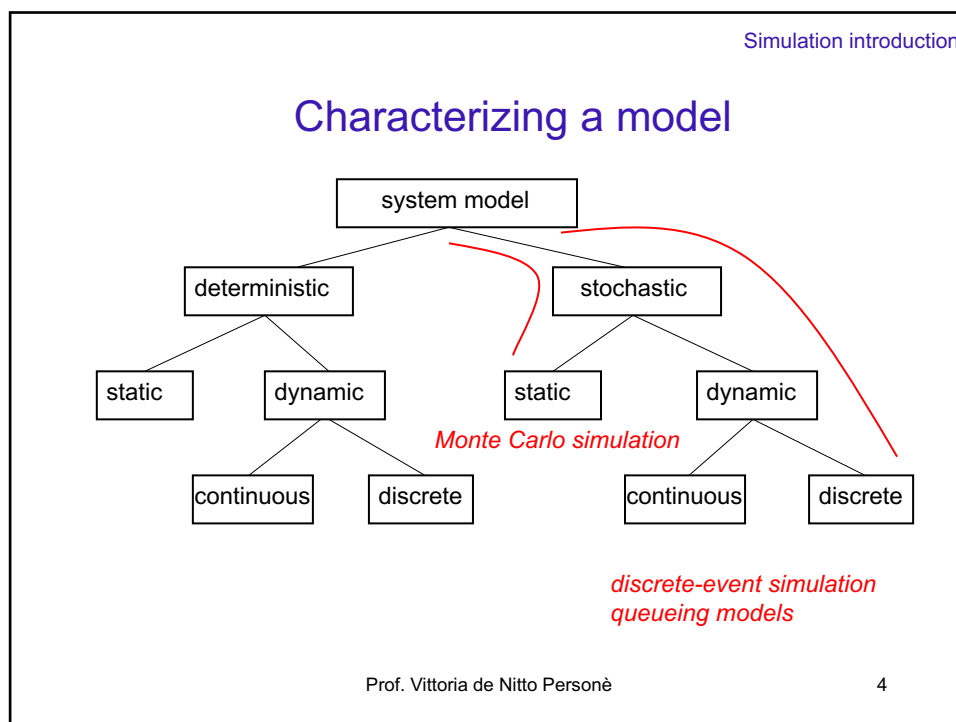
2

abbiamo visto che parliamo di un insieme di tecniche, da analitici alla simulazione, che hanno l'obiettivo di analizzare le prestazioni, punto di arrivo di tutti gli studi.  
Vediamo la parte SIMULATIVA.

Simulo modello, quindi devo definire tale modello. Può essere deterministico, stocastico, statico, dinamico, continuo, discreto. Tutti i sistemi hanno almeno un componente stocastico. Normalmente ci interessiamo al caso 'dinamico' (statico tempo non rilevante). Quindi lo spazio può essere continuo o discreto, normalmente ci basiamo su modelli a coda DISCRETI.



3



4

3. converto 2. in 'modello delle specifiche sm', cioè comincio a caratterizzare flusso di arrivo, distribuzioni, cioè parametrizzo quel modello.

5

6. VALIDAZIONE, stabilisco se il modello scelto è un buon modello per il sistema reale, non se è corretto oppure no, questo lo faccio con la verifica. Se c'è qualche errore, torno indietro al punto 2.

6

- 3

Molto spesso si tende a confonderli, o pensare siano la stessa cosa. E' un grave errore.

model development

## Verification vs. Validation

5. Verification
  - Computational model should be consistent with specification model
  - Did we build the model right?
6. Validation
  - Computational model should be consistent with the system being analyzed
  - Did we build the right model?
  - Can an expert distinguish simulation output from system output?

Prof. Vittoria de Nitto Personè

7

7

- verifica: ho costruito il modello in modo corretto?

- validazione: ho costruito il modello corretto? un esperto può distinguere output reale da quello simulato?

model development

## Algorithm 1.1: how to develop a model

1. Goals and objectives e.g. Boolean decisions  
Numeric decisions **UNBIASED**
2. *Conceptual* model (cm)
3. Convert cm into a *specification* model (sm)
4. Convert sm into a *computational* model (cptm)
5. Verify
6. Validate

Typically an iterative process

Prof. Vittoria de Nitto Personè

8

8

model development

## Algorithm 1.1: observations

- Make each model as simple as possible:
  - Never simpler
  - Do not ignore relevant characteristics
  - Do not include extraneous characteristics
- Model development is not sequential
  - Steps are often iterated
  - For teams, steps may be in parallel
  - **Do not merge verification and validation**
- Develop models at three levels
  - Think a little, program a lot (and poorly);
  - Think a lot, program a little (and well).

1. Goals
2. Conceptual model
3. Specification model
4. Computational model
5. Verify
6. Validate

Certainly produce large, inefficient, unstructured cm that  
**CANNOT BE VALIDATED**

Prof. Vittoria de Nitto Personè 9

9

Simulation studies

## Algorithm 1.2: using the resulting model

7. Design simulations experiments
  - What parameters should be varied?
  - perhaps many combinatoric possibilities
8. Make production runs
  - Record initial conditions, input parameters
  - Record statistical output
9. Analyze the output
  - Random components → statistical analysis (means, standard deviations, percentiles, histograms etc.)
10. Make decisions
  - The step9 results drive the decisions → actions
  - Simulation should be able to correctly predict the outcome of these actions (→ further refinements)
11. Document the results
  - summarize the gained insights in specific observations and conjectures useful for subsequent similar system models

risultati vanno documentati, sintetizzati. Progetti ben documentati si prestano bene a studi futuri.

Prof. Vittoria de Nitto Personè 10

che parametri variare, capendo quando ha senso variarne solo uno alla volta, e quando no.

concetti di indipendenza e identicamente distribuiti non è detto che ci siano nelle simulazioni. queste sono alla base del punto 10

10

Abbiamo tante run di esecuzione (almeno 500), e quindi non posso variare tutto a caso. Simulazioni ripetibili, non devo 'mantenere' output di ogni osservazione. Fare tabelle excel giganti con tante simulazioni ed indici ha poco senso, a noi interessano le medie delle simulazioni. Mantengo statistiche di output, non tutti i valori.

Digressione su qualche progetto degli anni precedenti:

1. si individui sistema oggetto di studio: NON devo partire col modello, ma devo capire cosa voglio studiare. Devo descrivere caso di studio.

2. obiettivi dello studio

3. ORA costruisco il modello. Non posso presentare modello a rete di code al punto 1.

tra punto 3 e 4 c'è la progettazione degli esperimenti.

In alcuni casi non c'è fase stazionaria, ma a volte possiamo 'forzarla' perchè ci è indice di alcuni comportamenti limite. Non sempre è richiesta. E' diverso dal caso transiente.

"obiettivo dello studio è realizzare modello a code..." NON VA BENE, quello è il metodo. L'obiettivo era simulare il sistema giudiziaria.

buona idea far parallelismi: job = denunce, server = giudici, etc.. cioè a livello di astrazione.

spesso fasi del dominio complicate sono approssimate con single server.

model development  
example

14/03/2023

(da libro simulazione) **Machine Shop Model** (1° caso studio)

- 150 identical machines:
    - Operate continuously, 8 hr/day, 250 days/yr
    - Operate independently
    - Repaired in the order of failure
    - Income: 50,00 €/hr of operation
  - Service technicians:
    - 2-year contract at 60.000,00 €/yr
    - Each works 230 8-hr days/yr
- 150 macchine identiche (omogeneo), operano continuamente, sono indipendenti, sono anche soggette a guasto, riparate nell'ordine di rottura. Il guadagno è in base oraria.
- ogni tecnico lavora 8 ore al giorno, per 230 giorni l'anno.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

11

11

model development  
example

è un problema noto nell'ambito del:

**Machine Shop Model**

- How many service technicians should be hired to maximize the profit?

Extreme solutions: just 1 technician

- minimizes service-techn overhead
- large down-times
- loss of income

1 technician for each machine

- huge service-techn overhead
- minimum down-times
- maximizes income

1. Goals
2. Conceptual model
3. Specification model
4. Computational model
5. Verify
6. Validate

Prof. Vittoria de Nitto Personè

12

12

Un primo approccio è identificare CASI LIMITE, per capire l'andamento.

Cosa accade in questi casi limite?

- 1 tecnico: - costi servizio, - guadagno (tempi riparazione più lunghi), + downtime (macchine ferme).

- 150 tecnici: + costi servizio, + guadagno (tempi riparazione breve), - downtime (macchine ferme).

## Machine Shop Model

qui abbiamo macchine e tecnici da modellare.

- State of each machine (failed, operational)
- State of each techn (busy, idle)
- Provides a high-level description of the system at any time

1. Goals
2. **Conceptual model**
3. Specification model
4. Computational model
5. Verify
6. Validate

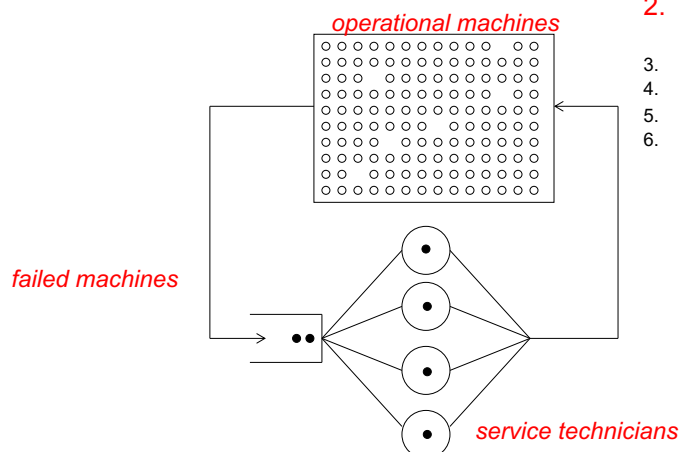
Stato fornisce descrizione sistema ad ogni istante di tempo. Facendo una fotografia, lo stato deve essere in grado di definirvi la situazione a quell'istante, e farvi capire come evolverà quello stato al tempo successivo (discreto, continuo, ...). Nel nostro caso, lo stato ci dirà se macchina è guasta o meno, se tecnico lavora o meno. Questo è a livello CONCETTUALE, non ho scritto formule o altro.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

13

13

## Machine Shop Model



1. Goals
2. **Conceptual model**
3. Specification model
4. Computational model
5. Verify
6. Validate

Prof. Vittoria de Nitto Personè

14

14

A livello concettuale abbiamo un PULL (scatola con macchine operative), centro a coda (servizio tecnico riparazione) fatto a servente multiplo (più serventi in parallelo). Qui i JOB = macchina, guasta in entrata, che ritorna nel pull delle macchine operative quando riparata. La macchina (job) passa tra stato di guasto e stato operativo. Il tecnico anche ha due stati: libero e occupato (ripara o meno la macchina).

model development  
example

## Machine Shop Model

- What is known about time between failures? Are the failures random?
- What is the distribution of the repair times?
- How will time evolution be simulated?

A livello delle specifiche, come caratterizzo le grandezze in gioco?  
 Sappiamo qualcosa sulla frequenza con cui le macchine si rompono? Sono random?  
 Quale è la distribuzione dei tempi di riparazione? come li modello?  
 Come evolverà il tempo simulato?

1. Goals
2. Conceptual model
3. **Specification model**
4. Computational model
5. Verify
6. Validate

Prof. Vittoria de Nitto Personè
15

15

model development  
example

## Machine Shop Model

- It should include:
  - Simulation clock data structure
  - «Queue» of failed machines
  - «Queue» of available technicians
  - performance characterization (structures to collect statistical data)

1. Goals
2. Conceptual model
3. Specification model
4. **Computational model**
5. Verify
6. Validate

Prof. Vittoria de Nitto Personè
16

16

Chiariti i concetti di prima, a livello computazione ci servirà simulare lo scorrere del tempo (struttura dati per l'orologio), una "coda" per macchine guasta ed una per i tecnici disponibili. Devo anche usare strutture dati per collezionare gli indici di prestazione.



## Machine Shop Model

1. Goals
2. Conceptual model
3. Specification model
4. Computational model
5. **Verify**
6. Validate

- Software engineering activity
- Usually done via extensive testing

L'implementazione è corretta rispetto specifiche date?  
Le tecniche di software engineering possono essere usare per tale scopo.

## Machine Shop Model

1. Goals
2. Conceptual model
3. Specification model
4. Computational model
5. Verify
6. **Validate**

the validation step allows to verify if the cptm is a  
"good approximation" of the actual machine shop

- If operational, compare against the real thing

- otherwise → use *consistency checks*

e.g. as the n. of technies grows, the average n. of fault machines decreases

as the mean service time grows, the average n. of fault machines grows too

I controlli di consistenza ci aiutano a capire se il simulatore si comporta allo stesso modo in cui noi ci "aspettiamo" dal sistema vero in quel caso.

Esempio: se aumentano i tecnici, mi aspetto che ci saranno mediamente meno macchine guaste, posso vederlo col simulatore, e devo vedere se si comporta come "mi aspetto".

Mi chiedo se il modello appena definito, e che sto simulando, è un modello che rappresenta bene il caso reale? Se è giusto rispetto al caso.

## Machine Shop Model

- Find the optimal number of technicians to maximize profit
- Initial conditions (e.g. are all machines initially operational?)
- For a fixed n. of service technicians, how many replications are required to reduce the natural sampling variability in the output statistics to an acceptable level?

Tutto parte dall'obiettivo dello studio, nel nostro caso: n° ottimo tecnici per massimizzare profitto. Devo quindi definire condizioni iniziali (es: parto da macchine tutte funzionanti? solo alcune?). Fissati un certo n° di tecnici, quanti esperimenti devo fare per ridurre la naturale variabilità (un tecnico può metterci tempi diversi), quindi userò variabili random). Uso stesse caratteristiche distribuzioni, NO stessi tempi.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

19

19

Se uso una certa distribuzione X, e faccio 1000 esperimenti, allora prenderò 1000 occorrenze della variabile X, che però avranno stesse caratteristiche, in quanto partirò sempre da X. NON devo annullare la variabilità, e quindi capire il numero corretto di repliche per fare tale stima.

## Machine Shop Model

- If many runs are made, management of the output results becomes an issue
  - avoid to archive "raw data"
  - simulation advantage: experiments can always be reproduced

Una simulazione può essere ripetuta, posso ripetere stesso esperimento con gli stessi numeri. Per creare campione valido però, dovrò generarlo in modo tale che catturi la naturale variabilità. Però, se volessi, posso ripetere un esperimento preciso con stessi numeri. Non ha senso salvare dati grezzi della singola osservazione, bensì mi interessa ai tempi medi. NON devo avere file excel con tantissimi dati e fare medie.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

20

20

## Machine Shop Model

7. Experiments design
8. Runs production
9. **Output analysis**
10. Decisional phase
11. Results documentation

- The statistical analysis (sa) of sim output often is more difficult than classical sa  
→ *dependent (correlated)* observations  
e.g. if the current n. of failed machines is observed each hour, consecutive observations will be found positively correlated → both below or above the mean n. of failed machines
- ATTENTION to erroneous conclusions

Nell'analisi statistica classica ho ipotesi teoriche, come indipendenza e identica distribuzione. Essa è più facile rispetto un'analisi statistica della simulazione, dove è facile trovare correlazione tra due osservazioni successive.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

21

21

## Machine Shop Model

7. Experiments design
8. Runs production
9. Output analysis
10. **Decisional phase**
11. Results documentation

- A graphical display of profit versus the number of service technies yields both the optimal n. of technies and a measure of how sensitive the profit is to variations of this n. (cost)
- *Decision policy not violating any external constraint*

Fase decisionale, in cui dare risposte. Può essere fatto in maniera guidata, se faccio grafico in funzione del profitto, posso trarre conclusioni. E' importante mostrare dati nella forma opportuna.

Prof. Vittoria de Nitto Personè

22

22

## Machine Shop Model

- System diagram
- Assumptions about failure and repair rates
- Description of specification model
- Software
- Tables and figures of output
- Description of output analysis

7. Experiments design
8. Runs production
9. Output analysis
10. Decisional phase
11. **Results documentation**

Advantages of the sim study:  
can provide valuable insights about system features  
and component interactions otherwise not  
achievable

Non devo trascurare la documentazione, utile anche per scopi futuri (se fatta bene).

## terminology

- *Model / simulation* (noun)
  - Model can be used with respect to conceptual, specification, or computational levels and for both analytical and simulation techniques
  - Simulation is frequently used to refer to the computational model (program), it is rarely used to describe the conceptual or specification model
- *Model / simulate* (verb)
  - To model can refer to development of the levels
  - To simulate refers to the computational activity
- **ATTENTION** do not confuse *verify* with *validate*

# Exercises

- Ex 1.1.2 and Ex 1.1.3 on p.11 from textbook

Prof. Vittoria de Nitto Personè

25