



شبیه سازی کامپیوتری

دکتر کاظمی پور

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی

گروه مهندسی صنایع - برنامه ریزی و تحلیل سیستم ها

h_kazemipoor@piaau.ac.ir

منابع

- Discrete Event System Simulation, Jerry Banks et al, Fourth Edition, 2005, Prentice-Hall
- Handbook of Simulation, Edited by Jerry Banks, 1998, John-Wiley
- Stochastic Discrete Event Systems, Armin Zimmermann, 2008, Springer
- Simulation: The Practice of Model Development and Use, Robinson, 2004, John-Wiley
- Simulation and the Monte Carlo method, Second Edition, Rubinstein and Kroese, Second Edition, 2008, John-Wiley
- An Introduction to Computer Simulation, Woolfson and Pert, 1998, Oxford University Press

Prepared By Dr. Kazemipoor

انتشار یافته در پایگاه اینترنتی

مهندسی صنایع دانشگاه آزاد پرند

ادامه منابع

- Simulation modeling: Handbook A Practical Approach, Chung, 2004, CRC Press
- Simulation Modeling and Analysis with Arena, Altiook and Melamed, 2007, Academic Press
- Computer Simulation Techniques: The definitive introduction, Harry Perros, Computer Science Department, NC state university, Raleigh, NC, 2008, <http://www.csc.ncsu.edu/faculty/perros//simulation.pdf>
- شبیه سازی سیستم های گسسته پیشامد، هاشم محلوجی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف
- علم و هنر شبیه سازی، ترجمه علی اکبر عرب مازار، مرکز نشر دانشگاهی
- آموزش شبیه سازی عملیات با Arena، شهروز انتظامی و عبدالوحید خراسانی، انتشارات ناقوس

Prepared By Dr. Kazemipoor

فهرست موضوعی

- آشنایی با مفاهیم و مراحل شبیه سازی
- مثال هایی از شبیه سازی و مفاهیم مدل سازی سیستم ها
- آمار در شبیه سازی (مفاهیم آمار، توزیع ها و ساخت مقادیر تصادفی، اعداد تصادفی، تحلیل داده های ورودی به مدل)
- تصدیق و اعتبارسنجی مدل های شبیه سازی کامپیوتری
- تحلیل داده های خروجی و مقایسه و انتخاب آلترناتیو برتر
- بهینه سازی در مدل های شبیه سازی
- آموزش صورت کلی نرم افزارهای آماری و شبیه سازی (ED, Arena, Showflow, Minitab)

Prepared By Dr. Kazemipoor

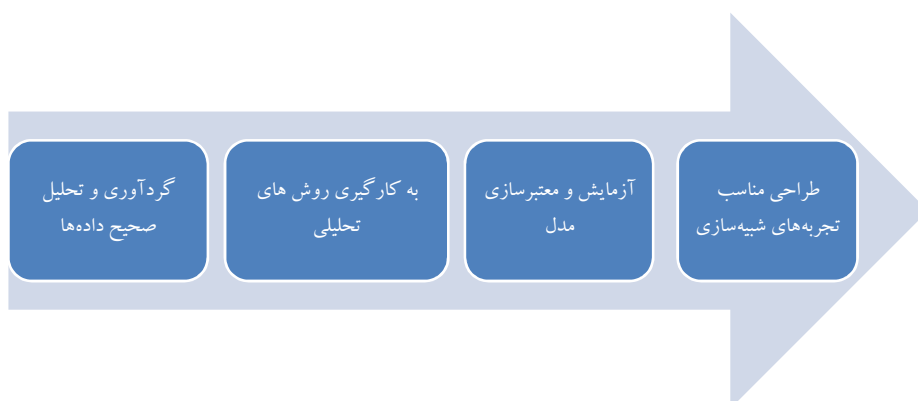
پیشگفتار

شبیه‌سازی چه به صورت دستی چه به صورت کامپیوتری، تقلیدی از عملکرد سیستم واقعی با گذشت زمان است که به ایجاد ساختگی تاریخچه سیستم و بررسی آن به منظور دستیابی به نتیجه‌گیری در مورد ویژگی‌های عملکرد واقعی آن می‌پردازد. شبیه‌سازی اصولاً به شکل مجموعه‌ای از فرض‌های مربوط به عملکرد سیستم در چارچوب رابطه‌های ریاضی و منطقی می‌باشد. شبیه‌سازی یکی از پرکاربردترین ابزار موجود علم تحقیق در عملیات است که:

- اجازه ارزیابی عملکرد سیستم را پیش از پدید آمدن می‌دهد.
- مقایسه گزینه‌های گوناگون را بدون ایجاد اختلال در سیستم واقعی مسیر می‌کند.
- فشرده‌سازی زمان را به منظور اتخاذ تصمیم‌های به موقع انجام می‌دهد.
- ساختار ساده و استفاده از نرم‌افزارها، امکان استفاده بسیاری را فراهم می‌کند.

Prepared By Dr. Kazemipoor

شبیه‌سازی در یک نگاه



Prepared By Dr. Kazemipoor



فصل اول

مفاهیم و تعاریف

سیستم و محدوده عمل

یک سیستم گروهی است از اشیا که در راستای تحقق مقصودی معین در چارچوب روابط یا وابستگی‌های متقابل، به یکدیگر پیوسته هستند.

محیط سیستم:

عواملی خارج از سیستم که تحت کنترل نیستند، ولی می‌توانند بر عملکرد سیستم اثر بگذارند محیط سیستم خوانده می‌شود. یک سیستم معمولاً تحت تأثیر تغییراتی است که در خارج سیستم اتفاق می‌افتد. این تغییرات اصطلاحاً در محیط یا پیرامون سیستم اتفاق می‌افتند. در مدل سازی یک سیستم، تصمیم‌گیری نسبت به مرز بین سیستم و محیط سیستم از نکات ضروری و مهم است.

Prepared By Dr. Kazemipoor

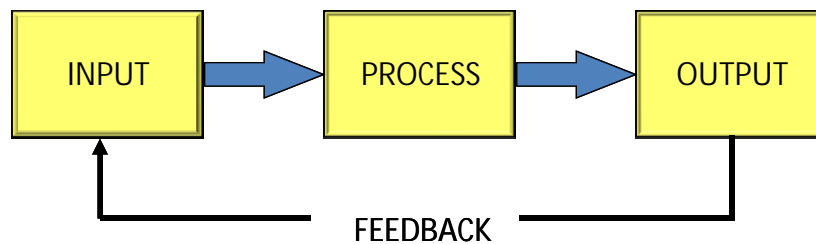
نکته‌ای در تعریف سیستم

اگر عوامل بیرونی به طور جزئی سیستم را تحت تأثیر قرار دهند می‌توان:

- تعریف سیستم را گسترش داد تا عوامل بیرونی را در برگیرد.
- عوامل بیرونی را نادیده گرفت.
- می‌توان عوامل بیرونی را به عنوان ورودی‌های سیستم در نظر گرفت.

Prepared By Dr. Kazemipoor

ارکان سیستم



Prepared By Dr. Kazemipoor

اجزاء سیستم

- نهاد یا موجودیت (Entity)
عنصری مورد توجه در سیستم است. عناصر موقتی که در سیستم جاری شده و دارای دیمانسیون مشخص هستند.
- مشخصه یا خصیصه (Attribute)
ویژگی موجودیت است و آنرا توصیف می کند.
- فعالیت (activity)
هر فعالیت بیانگر یک پریود زمانی با طول مشخص است.
- وضعیت یا حالت سیستم: (State)
مجموعه متغیرهای لازم برای توصیف سیستم در هر لحظه از زمان با توجه به هدف مطالعه سیستم و معمولاً با مقادیر عددی تخصیصی به مشخصه های موجودیتها تعریف می شود.
- واقعه یا پیشامد (Event)
رویدادی لحظه ای است که می تواند وضعیت سیستم را تغییر دهد.

Prepared By Dr. Kazemipoor

مثال

سیستم	نهاد	خصیصه ها	فعالیت	پیشامد	متغیرهای حالت
بانک	مشری	مانده حساب جاری	سپرده گذاری	ورود، ترک	تعداد خدمت دهنده های مشغول تعداد مشتریان منتظر
قطار سریع اسیر	مسافر	مبدأ، مقصد	سفر	ورود به ایستگاه رسیدن به مقصد	تعداد مسافران منتظر در هر ایستگاه تعداد مسافران در سفر
تولید	ماشین ها	سرعت ظرفیت آهنگ از کار ماندگی	جوشکاری، برش	از کار ماندگی	وضعیت ماشین ها (مشغول، بیکار، از کار افتاده)
ارتباطات	پیام ها	طول، مقصد	مخابره	ورود به مقصد	تعداد پیام های در انتظار مخابره
موجودی	انبار	ظرفیت	خارج سازی کالا از انبار	تقاضا	سطوح موجودی تقاضای پس افت

Prepared By Dr. Kazemipoor

مشخصه‌های ثابت و متغیر

مشخصه‌ها توصیف کننده موجودیت‌ها هستند. مقدار یک مشخصه می‌تواند در طول زمان تغییر کند (مشخصه متغیر) و یا تغییر نکند (مشخصه ثابت). معمولاً بیشتر علاقمند به مدل کردن مشخصه‌های متغیر هستیم.

مثال هایی از مشخصه‌های متغیر:

- تعداد قطعات در خط مونتاژ.
- وضعیت یک ماشین (که منجر به درصد استفاده از ماشین می‌شود).
- زمان تکمیل مونتاژ
- اینکه د کتر مشغول و یا بیکار است.

مثال هایی از مشخصه‌های ثابت:

- مسیر تولید یک محصول
- توالی مواردی که می‌بایست روی یک مریض با نوع خاصی از درمان صورت گیرد.

مشخصه در خط مونتاژ

موجودیت‌ها	مشخصه‌ها
کارگران	a) وضعیت کاری (بیکار(۰) یا مشغول(۱)) b) ایستگاه‌های کاری تخصیص یافته (۱ و ۲ و ۳ و ...)
ماشین‌آلات	a) وضعیت (بیکار(۰) ، مشغول(۱)، منتظر تعمیر (۲) تحت تعمیر (۳)، در حال راه‌اندازی(۴)) b) عمر c) زمان عملیات
ایستگاه‌های کاری	a) تعداد قطعات منتظر در صف (۰، ۱، ۲، ...)...
محصولات مونتاژی	a) موعد تحویل b) استقرار

Prepared By Dr. Kazemipoor

مدل سازی

مدل سازی یک اقدام مهم در جهت ایجاد یک نمونه ساده شده از یک سیستم کامل با هدف پیش بینی معیارهای قابل اندازه گیری عملکرد سیستم می باشد. اصولاً یک مدل به منظور گرفتن جنبه های رفتاری خاص از یک سیستم و کسب آگاهی و بینش از رفتار سیستم طراحی می شود.

— مدل دقیقاً همانند سیستم واقعی نیست. بلکه تنها شامل تعدادی از جنبه های اساسی و کلیدی سیستم است که برای هدف مطالعه سیستم تأثیرگذار هستند. از این رو مدل خلاصه ای از سیستم مورد بررسی است. فرایند ساختن مدل برای افراد متخصص و تصمیم گیرندگان مختلف، روشی اصولی، صریح و موثر را فراهم می سازد تا بتوانند قضاوت و ادراک خود را درباره موضوع متمرکز سازند. همچنین با معرفی چارچوبی دقیق، مدل را می توان به عنوان ابزاری موثر در برقرار کردن ارتباط به عنوان کمک در کار تفکر روی موضوع به کار برد.

Prepared By Dr. Kazemipoor

روش صحیح مدل سازی

- شروع با مدلی بسیار ساده
- تکمیل تدریجی مدل

به منظور ایجاد مدلی مفید از یک فرایند دو مرحله ای استفاده می شود.

— تجزیه: ساده کردن سیستم از طریق حذف جزئیات یا از طریق پذیرش فرضیهایی است که روابط حاکم بر عوامل را مهارپذیر می کند. عمل ساده کردن عموماً منجر به موارد زیر می شود:

- تبدیل متغیرها به مقادیر ثابت
- حذف یا ادغام متغیرها در یکدیگر
- فرض خطی بودن روابط
- افزودن محدودیت های بیشتر

— ترکیب

Prepared By Dr. Kazemipoor

انواع مدل ها

مدل فیزیکی

– یک شی فیزیکی ساده شده با مقیاس کوچک شده می باشد. (مانند مدل هواپیما)

مدل تحلیلی یا ریاضی

– مجموعه ای از معادلات و ارتباطات میان متغیرهای ریاضیاتی می باشد. (مانند مجموعه ای از معادلات که توصیف کننده جریان کاری در خط تولید در کارخانه می باشد)

مدل کامپیوتری (شبیه سازی)

– شرح برنامه ای از سیستم می باشد.

Prepared By Dr. Kazemipoor

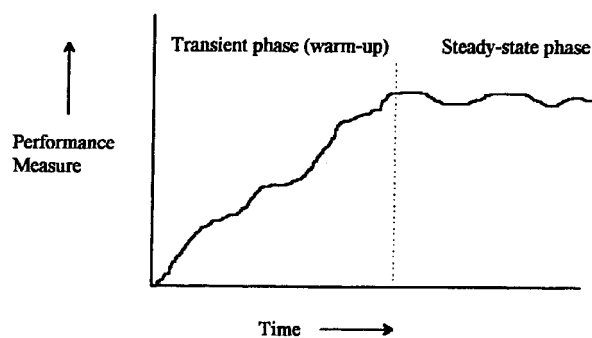
شبیه سازی

- شبیه سازی، بیان رفتار پویای یک سیستم در **حالت پایدار** به واسطه حرکت آن از یک وضعیت به وضعیت دیگر بر اساس قواعد عملیاتی تعریف شده است. اصولاً در شبیه سازی، از کامپیوتر برای ارزیابی عددی یک مدل استفاده شده و در آن داده ها به جهت تخمین ویژگی های موردنظر مدل جمع آوری می شوند.
- شبیه سازی کامپیوتری در عام ترین معنایش، فرایند طراحی مدلی ریاضی - منطقی از سیستم واقعی و آزمایش این مدل با کامپیوتر است. فرایند مدل سازی با استفاده از روابط ریاضی - منطقی و همچنین اجرای مدل به وسیله کامپیوتر به شبیه سازی کامپیوتر می گویند.

Prepared By Dr. Kazemipoor

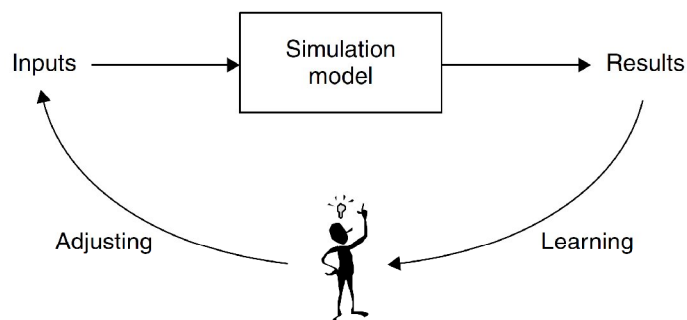
Steady State

حالت پایدار



Prepared By Dr. Kazemipoor

شبیه سازی به عنوان یک سیستم



Prepared By Dr. Kazemipoor

کامپیوتر در شبیه سازی

کامپیوتر داده‌های موردنظر در ارتباط با موجودیتهای شبیه‌سازی شده را ثبت کرده و یک نمونه ترکیبی از داده‌های عملکردی سیستم را ایجاد می‌کند. سپس مفاهیم آماری برای تحلیل این نمونه داده‌ها در ارتباط با کمیت‌های مختلفی چون موارد زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

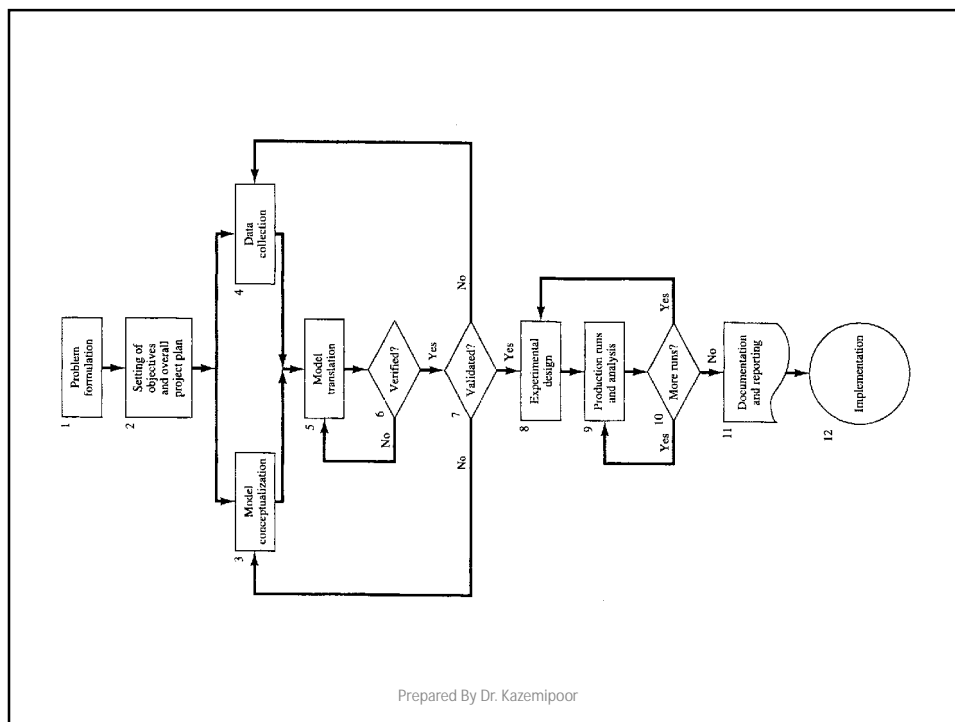
- زمانهای انتظار
- توان عملیاتی
- طول صف
- زمانهای پردازش
- میزان استفاده از منابع

Prepared By Dr. Kazemipoor

مراحل ساخت مدل شبیه‌سازی

- فرموله‌بندی و تعریف مساله
- تعیین اهداف و طرح کلی پروژه
- تحلیل مسئله
- جمع‌آوری داده اطلاعات
- ساخت مدل
- ممیزی مدل
- معتبرسازی مدل
- طراحی و اجرای آزمایش‌های شبیه‌سازی.
- تحلیل خروجی
- تفسیر و مستندسازی
- اجراء

Prepared By Dr. Kazemipoor



انواع شبیه سازی

Discrete Event System Simulation

Continuous System Simulation

Prepared By Dr. Kazemipoor

شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد Discrete Event System Simulation

شبیه‌سازی سیستمی که متغیرهای حالت آن فقط و فقط در نقاط گسسته‌ای از زمان "در لحظه وقوع رویداد" اتفاق بیفتد را شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد می‌نامند. در حقیقت وضعیت چنین سیستمی در لحظه‌های گسسته‌ای از زمان به روز رسانی می‌شود.

Prepared By Dr. Kazemipoor

Some Applications

- Financial engineering/quantitative finance
- Computer performance modeling
- Service industries
- Manufacturing
- Military
- Transportation and logistics

Prepared By Dr. Kazemipoor

Type of System	Design, Planning, and Operational Issues
Manufacturing systems	Plant design and layout Continuous improvement Capacity management Agile manufacturing evaluation Scheduling and control Materials handling
Transportation systems	Railroad system performance Truck scheduling and routing Air traffic control Terminal and depot operations
Computer and communication systems	Performance evaluation Work-flow generation and analysis Reliability assessment
Project planning and control	Product planning Marketing analysis Research and development performance Construction activity planning Scheduling project activities
Financial planning	Capital investment decision making Cash flow analysis Risk assessment Balance sheet projections
Environmental and ecological studies	Flood control Pollution control Energy flows and utilization Farm management Pest control Reactor maintainability
Health care systems	Supply management Operating room scheduling Manpower planning Organ transplantation policy evaluation

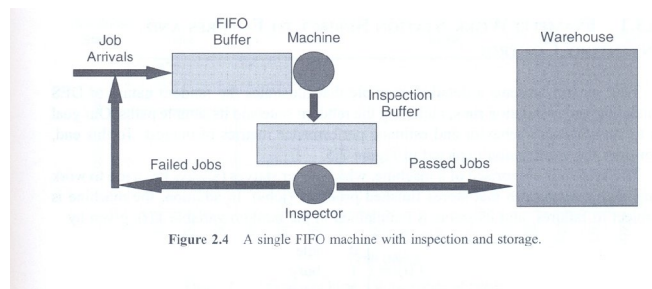
Prepared By Dr. Kazemipoor

مثال هایی برای تولید، مراکز خدماتی و حمل و نقل

- یک کارخانه تولیدی به همراه ماشینها، پرسنل، وسایل حمل و نقل و فضاهای انبار
- یک بانک با انواع مختلف مشتریان، خدمت دهندگان و تسهیلات نظیر پنجره های پاسخگویی، ماشین های ATM، پرداخت وام و ...
- یک شبکه توزیع کالا از کارخانجات، انبارها و شبکه های حمل و نقل

Prepared By Dr. Kazemipoor

شبیه‌سازی در یک مثال سیستمی



Prepared By Dr. Kazemipoor

شبیه‌سازی سیستم‌هایی با خصوصیت تصادفی

می‌توان چنین گفت که اکثر سیستم‌های موجود معرفی شده خاصیت تصادفی بودن را با خود به همراه دارند. منظور از این جمله این است که؛ سیستم‌ها همواره عملکرد یکسانی ندارند. همین امر باعث می‌شود با توجه به نظریه‌های آماری خصوصیت تصادفی بودن را برای سیستم‌ها فرض صحیحی دانست. در این درس با شناسایی خصوصیت تصادفی آماری جامعه مورد بررسی، با استفاده از تکنیک‌های آماری، به شبیه‌سازی سیستم‌ها برای مطالعه وضعیت در حالت پایدار سیستم می‌پردازیم.

Prepared By Dr. Kazemipoor

مونت کارلو

تعریف

روشی است که در آن به منظور حل مسایل غیر تصادفی یا برخی مسایل تصادفی که گذشت زمان هیچ نقش اساسی در آنها ندارد از اعداد تصادفی (اعداد تصادفی یکنواخت در بازه صفر تا یک) استفاده می‌شود.

تاریخچه

در خلال جنگ جهانی دوم از رمز مونت کارلو که تعریفی مطابق بالا دارد برای حل مسائلی در ساخت بمب اتمی استفاده شده است.

Prepared By Dr. Kazemipoor

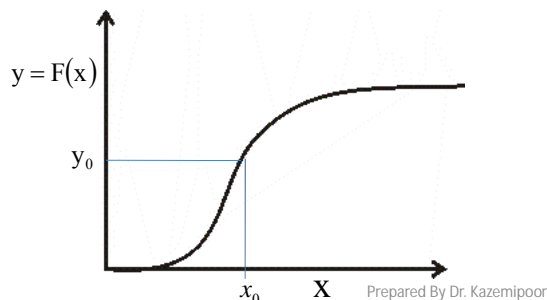
اساس روش مونت کارلو

$$\text{If } X \sim f(x) \text{ and } Y = F_X(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx \Rightarrow Y \sim U(0,1)$$

Proof

$$G_Y(y) = p(Y < y) = p(F_X(x) < y) = p(x < F_X^{-1}(y)) = F_X(F_X^{-1}(y)) = y \Rightarrow$$

$$g(y) = \frac{dG_Y(y)}{dy} = 1 \Rightarrow g(y) = 1 \quad ; \quad 0 \leq y \leq 1 \Rightarrow Y \sim U(0,1)$$



Prepared By Dr. Kazemipoor

تعیین تابع توزیع تابعی از متغیرهای تصادفی

- تکنیک تابع توزیع
- تکنیک تبدیل یک متغیره
- تکنیک تبدیل چند متغیره
- تکنیک تابع مولد گشتاور

Prepared By Dr. Kazemipoor

مثالی برای روش مونت کارلو

فرض کنید انتگرال زیر با روش های متداول حل نمی شود، روش حلی با استفاده از مونت کارلو ارائه کنید.

$$I = \int_a^b g(x) dx$$

حل:

$$\text{فرض } X \sim U[a, b] \Rightarrow f(x) = \frac{1}{b-a}$$

$$\text{فرض } Y = (b-a)g(X) \Rightarrow E(Y) = (b-a)E(g(X)) \Rightarrow E(Y) = (b-a) \int_a^b g(x)f(x)dx$$

$$\Rightarrow E(Y) = \int_a^b g(x)dx = I$$

$$\text{We knew that : } E(Y) = (b-a)E(g(X)) = (b-a) \sum_{i=1}^n \frac{g(X_i)}{n}$$

\Rightarrow Solving process: we can produce n random number $(X_1, X_2, \dots, X_n \sim U(0,1))$

$$\text{and then calculate the } (b-a) \sum_{i=1}^n \frac{g(X_i)}{n}$$

Prepared By Dr. Kazemipoor

در این درس شبیه‌سازی با روش مونت کارلو انجام می‌شود

چه وقت شبیه‌سازی ابزار مناسبی است؟

- مطالعه، بررسی و آزمایش روابط متقابل هر سیستم یا زیر سیستم پیچیده و پویا.
- اعمال تغییرات اطلاعاتی، سازمانی و محیطی و مشاهده تأثیر این تغییرات بر رفتار سیستم.
- استفاده از شناخت به دست آمده در شبیه‌سازی برای پیشنهاد انجام اصلاحات روی سیستم در دست بررسی.
- شناسایی مهمترین متغیرها و روابط متقابل آنها، با ایجاد تغییر در ورودی‌های شبیه‌سازی و بررسی خروجی‌ها.
- به عنوان ابزاری آموزشی به منظور تقویت روشهای تحلیلی.
- آزمایش طرح‌ها یا خط مشی‌های جدید پیش از اجرا و کسب آمادگی لازم برای روبرو شدن با پشامدهای احتمالی.
- تحقیق در مورد پاسخ‌های تحلیلی

Prepared By Dr. Kazemipoor

Advantages

- Experimentation in compressed time
- Reduced analytic requirements
- Easily demonstrated models

Prepared By Dr. Kazemipoor

Disadvantages

- Simulation cannot give accurate results when the input data are inaccurate.
- Simulation cannot provide easy answers to complex problems.
- Simulation cannot solve problems by itself.

Prepared By Dr. Kazemipoor

نرم افزارهای شبیه سازی

پیچیده بودن شبیه سازی سیستم های واقعی، استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری را باعث می شود. در اصل نرم افزار کامپیوتری چارچوبی را برای ساخت مدل فراهم می کنند که کار مدل ساز را نسبت به موارد زیر راحت می کنند:

- چگونگی پردازش ورودی ها
- عملیات ثبت داده ها
- گزارش های خروجی
- تسهیل در تولید داده های تصادفی
- جمع کردن داده ها در متغیرهای خروجی

Prepared By Dr. Kazemipoor

نرم افزارهای شبیه سازی

Software	Supplier
Arena	Rockwell Software
AutoMod	Brooks-PRI Automation
Awe Sim	Frontstep, Inc.
Enterprise Dynamics	Incontrol Enterprise Dynamics
Extend	Imagine That, Inc.
Flexsim	Flexsim Software Products, Inc.
GPSS/H	Wolverine Software Corporation
Micro Saint	Micro Analysis and Design
ProModel (MedModel, ServiceModel)	ProModel Corporation
Quest	DELMIA Corporation
ShowFlow	Webb Systems Limited
SIGMA	Custom Simulation
Simprocess	CACI Products Company
Simul8	Visual8 Corporation
SLX	Wolverine Software Corporation
Visual Simulation Environment	Orca Computer, Inc.
Witness	Lanner Group, Inc.

Prepared By Dr. Kazemipoor

Some criteria for simulation software Selection

Hardware/software requirements Hardware platform required Operating system (notes) Software protection (hardware security device?) Availability of network licences Features fit use on the world wide web Model coding and testing Ease of model development Can a model be built and run in small steps? Availability of debugging aids (e.g. syntax checking, consistency checking, trace) Maximum model size Maximum dimensions of objects (e.g. arrays) Features for documenting a model Availability of help facility Availability of software wizard Visual features Is the display concurrent with the run, or is it a playback feature? Speed with which display can be developed Can user icons be drawn? Availability of icon libraries Ability to pan and zoom Ability to locate objects on the display Smoothness of animation Availability of 3D animation Input data and analysis features Distribution fitting Ability to sample from empirical distributions Which statistical distributions are available? Ability to import data from other software Reporting and output analysis features Availability of standard reports for model objects Availability of graphical reporting Ability to develop customized reports Ability to export results to other software Statistical analysis of results	Experimentation Predictable run speed Run control (step, animated, batch) Interactive capability Number of random number streams available Control of random number streams Ability to perform multiple replications Facilities for organizing batches of runs Provision of advice on warm-up, run-length and multiple replications Availability of an optimizer Ability to distribute runs across networked computers Support Availability of a help desk Availability of consultancy support Type of training given Frequency of software upgrades What is in the next upgrade? Foreign language versions and support Quality of documentation Pedigree Size of vendor's organization How long has the package been available? Have similar applications been modelled with the package? Number of users (in industry sector) Geographic spread of the package Availability of literature on the package and package use Cost Purchase price Maintenance fee Cost of support Cost of training Time to learn the software Availability of lower cost run-only licence
--	--

Prepared By Dr. Kazemipoor

Enterprise Dynamics

نرم افزار ED در این کلاس ارائه خواهد شد که نسخه دانشجویی آن در دسترس خواهد بود.

Prepared By Dr. Kazemipoor

Exercises

1. Think of situations where simulation could be used, for instance, from day-to-day life, a place of study or work. What aspects of each situation make simulation appropriate?
2. Take a typical operations system, preferably one that can be observed (e.g. a bank or supermarket), and identify the elements of variability, interconnectedness and complexity.
3. There are many case studies describing the application of simulation to real problems. Obtain and read some simulation case studies. Why was simulation used? What benefits were obtained? Some journals that often publish simulation case studies are: IIE Solutions, Interfaces, OR Insight and the Journal of the Operational Research Society. The Winter Simulation Conference proceedings (www.wintersim.org) include many case studies. Simulation software suppliers also publish case studies on their web sites.
4. Two points A and B are selected randomly in the unit square. Let D denote the distance between them. Using Monte Carlo:
 - Estimate $E(D)$ and $\text{Var}(D)$.
 - Plot an empirical distribution function for D.
 - Suggest a more efficient method for estimating $P(D > 1.4)$, bearing in mind that this probability is very small.

Prepared By Dr. Kazemipoor