

اصول شبیه سازی

محمد علিশاهی
عضو هیات دانشگاه تهران

منابع

- شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته پیشامد، هاشم محلوجی، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف
- علم و هنر شبیه‌سازی، ترجمه علی اکبر عرب مازار، مرکز نشر دانشگاهی
- آموزش شبیه‌سازی عملیات با Arena، شهرزاد انتظامی و عبدالوحید خراسانی، انتشارات ناقوس
- Discrete Event System Simulation, Jerry Banks et al, Fourth Edition, 2005, Prentice-Hall
- Simulation: The Practice of Model Development and Use, Robinson, 2004, John-Wiley

ارزیابی

- امتحان میان ترم و پایان ترم
- پروژه تحقیقاتی

فهرست موضوعی

- آشنایی با مفاهیم و مراحل شبیه سازی
- مثال هایی از شبیه سازی و مفاهیم مدل سازی سیستم ها
- شبیه سازی گسسته پیشامد: اصول کلی
- 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 (Arena, Minitab)

مقدمه

- شبیه سازی **تقلیدی** از عملکرد سیستم واقعی (بر اساس تاریخچه سیستم) با گذشت زمان است.
- شبیه سازی اصولاً به شکل **مجموعه‌ای از فرض‌های** مربوط به عملکرد سیستم در چارچوب رابطه‌های ریاضی و منطقی است.
- شبیه سازی یکی از پرکاربردترین ابزارهای 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 میسر می‌کند.
 - **فشرده سازی زمان** را به منظور اتخاذ تصمیم‌های به موقع انجام می‌دهد.
 - **ساختار ساده** و استفاده از نرم افزارها، امکان استفاده بسیاری را فراهم می‌کند.

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.

چه وقت شبیه‌سازی ابزار مناسبی است؟

- به عنوان ابزاری به منظور تقویت روشهای تحلیلی.
- **آزمایش** طرح‌ها یا خط‌مشی‌های جدید پیش از اجرا و کسب آمادگی لازم برای روبرو شدن با پیشامدهای احتمالی.
- تحقیق در مورد **پاسخ‌های تحلیلی**.
- بررسی پرسش‌های از نوع "**چه شود اگر**".

شبیه‌سازی در یک نگاه

گردآوری و تحلیل
صحیح داده‌ها

به کارگیری روش‌های
تحلیلی

آزمایش و معتبرسازی
مدل

طراحی مناسب
تجربه‌های شبیه‌سازی

فصل اول

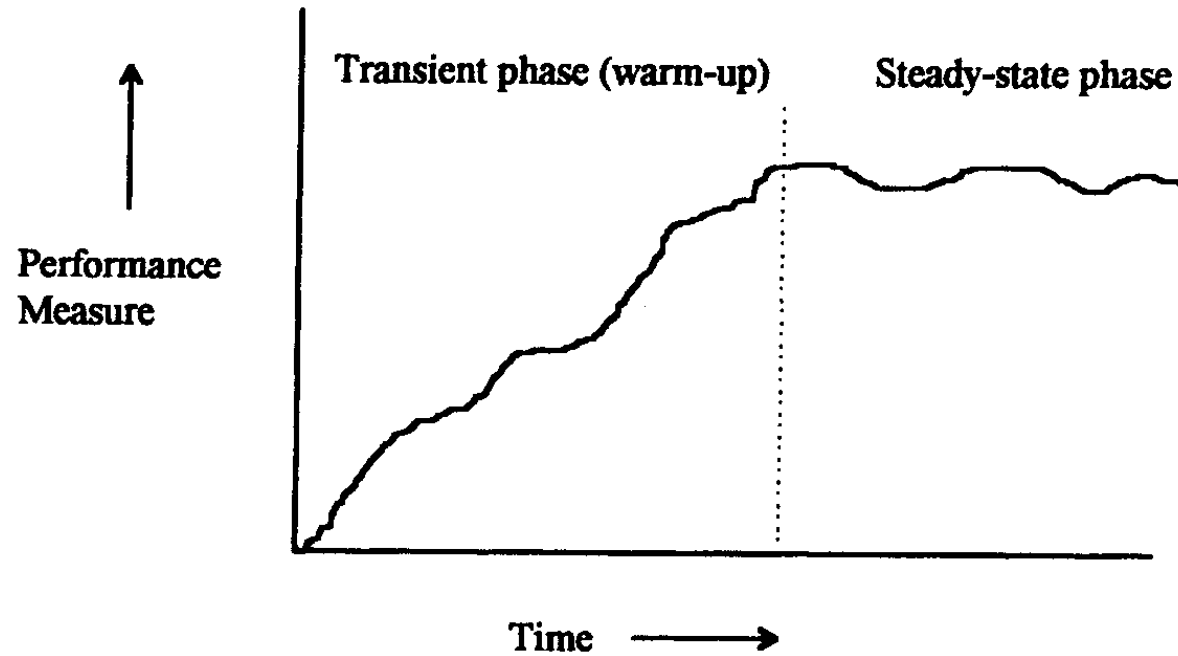
مفاهيم و تعاريف

شبیه سازی

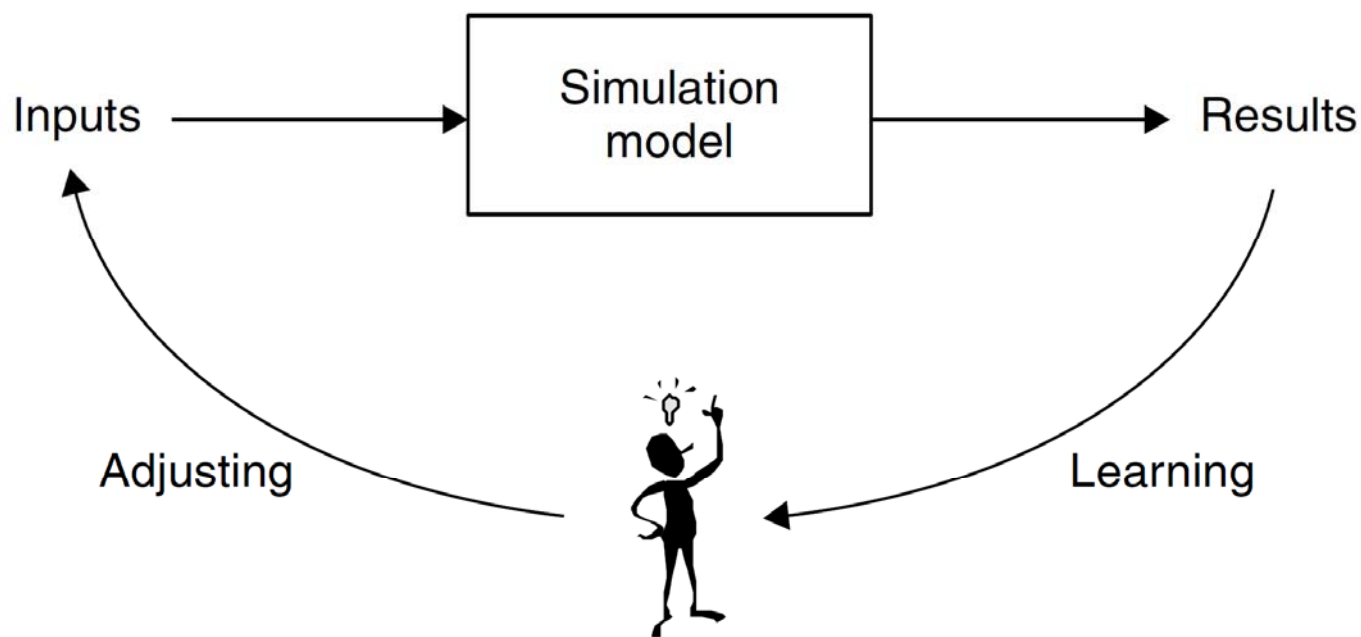
- شبیه سازی، بیان رفتار پویای یک سیستم در **حالت پایدار** به واسطه حرکت آن از یک وضعیت به وضعیت دیگر تعریف شده است.
- اصولاً در شبیه سازی، از کامپیوتر برای ارزیابی عددی یک مدل استفاده شده و در آن داده ها به جهت تخمین ویژگی های موردنظر مدل جمع آوری می شوند.
- شبیه سازی کامپیوتری در عام ترین معنایش، فرایند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

Steady State

حالت پایدار



شبیه سازی به عنوان یک سیستم



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.
- در مدلسازی یک سیستم، تصمیم‌گیری نسبت به **مرز** بین سیستم و محیط سیستم از نکات ضروری و مهم است.

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 بر گیرد.
- عوامل بیرونی را **نادیده** گرفت.
- می‌توان عوامل بیرونی را به عنوان **ورودی‌های** سیستم در نظر گرفت.

اجزاء سیستم

- نهاد یا موجودیت (Entity)
عنصری مورد توجه در سیستم است و دارای خصیصه مشخص هستند.
- مشخصه یا خصیصه (Attribute)
ویژگی نهاد 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 است.
- واقعه یا پیشامد (Event)
رویدادی لحظه ای است که می تواند وضعیت سیستم را تغییر دهد.

مثال

سیستم	نهاد	خصیصه	فعالیت	پیشامد	متغیرهای حالت
بانک	مشتری	مانده حساب جاری	سپرده گذاری	ورود، ترک	تعداد خدمات دهنده‌های مشغول تعداد مشتریان منتظر
قطار سریع السیر	مسافر	مبدأ، مقصد	سفر	ورود به ایستگاه رسیدن به مقصد	تعداد مسافران منتظر در هر ایستگاه تعداد مسافران در سفر
تولید	ماشین‌ها	سرعت ظرفیت	جوشکاری، برش	از کار ماندگی	وضعیت ماشین‌ها (مشغول، بیکار، از کار افتاده)
ارتباطات	پیام‌ها	طول، مقصد	مخابره	ورود به مقصد	تعداد پیام‌های در انتظار مخابره
موجودی	انبار	ظرفیت	خارج سازی کالا از انبار	تقاضا	سطوح موجودی تقاضای پس‌افت

مشخصه‌های ثابت و متغیر

مشخصه‌ها توصیف کننده نهادها 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

مثال هایی از مشخصه‌های ثابت:

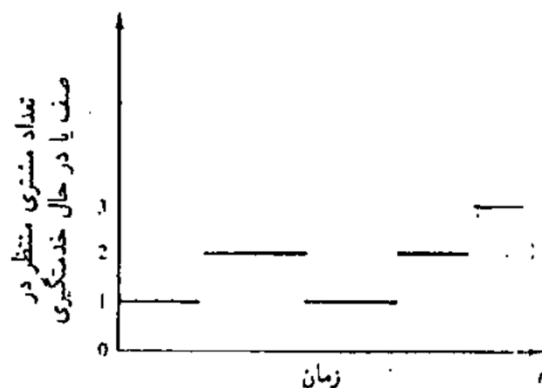
- مسیر تولید یک محصول
- توالی مواردی که می‌بایست روی یک مریض با نوع خاصی از درمان صورت گیرد.

مشخصه در خط مونتاژ

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

سیستم‌های گسسته و پیوسته

- سیستم‌های انگشت‌شماری به طور کامل پیوسته یا گسسته هستند.
- با توجه به **متغیر مسلط**، امکان رده‌بندی وجود دارد.
- سیستم‌های گسسته سیستمی است که متغیر حالت آن تنها در مجموعه‌ای از نقاط گسسته زمان تغییر می‌کند.
- سیستم‌های پیوسته سیستمی است که متغیر حالت آن به صورت پیوسته در طی زمان تغییر می‌کند.



شکل ۱-۱ متغیر حالت در سیستم گسسته.



شکل ۲-۱ متغیر حالت در سیستم پیوسته.

مزایای شبیه سازی

- بکارگیری مکرر شبیه سازی پس از ساخت مدل به منظور **تحلیل طرح ها یا خط مشی ها**
- تحلیل تمامی سیستم ها حتی با داده های ورودی تقریبی و ناقص
- معمولاً **کم هزینه تر** از فراهم آوردن اطلاعات از سیستم واقعی
- **آسان تر** در مقایسه با روش های تحلیلی
- عدم نیاز به **فرض های ساده کننده** مورد استفاده در مدل های تحلیلی
- قابلیت محاسبه و تحلیل طیف وسیعی از معیارهای عملکرد
- در برخی موارد تنها وسیله یافتن راه حل مساله
- قابلیت **فشرده سازی** و **گسترده سازی** زمان

محدودیت‌ها/معایب شبیه‌سازی

- نیاز به **اجراهای فراوان** برای تصدیق اعتبار
- **وابستگی** به شبیه‌سازی حتی در شرایط قابل حل بوسیله مدل‌های تحلیلی (لزوم وجود عدم قطعیت)
- **زمان زیاد** برای توسعه مدل در برخی شرایط
- **بی‌دقتی** شبیه‌سازی و دشواری سنجش این بی‌دقتی

نرم افزارهای شبیه سازی

پیچیده بودن شبیه سازی سیستم های واقعی، لزوم 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 در موارد زیر راحت می کنند:

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

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.

Hardware/software requirements

Hardware platform required
Operating system required
Software protection (hardware security device?)
Availability of network licences
Features for 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

Probable 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 usage 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

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.

- مدل دقیقاً همانند سیستم واقعی نیست. بلکه تنها شامل **تعدادی از جنبه های** اساسی و کلیدی سیستم است که برای هدف مطالعه سیستم تأثیر گذار هستند.
- 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.

روش صحیح مدل سازی

- شروع با مدلی بسیار ساده

- تکمیل تدریجی مدل

به منظور ایجاد مدلی مفید از یک فرایند دو مرحله‌ای استفاده می‌شود.

– تجزیه: ساده کردن سیستم از طریق حذف جزئیات یا از طریق پذیرش فرضیهایی است که روابط

حاکم بر عوامل را مهارپذیر می‌کند. عمل ساده کردن عموماً منجر به موارد زیر می‌شود:

– تبدیل متغیرها به مقادیر ثابت

– حذف یا ادغام متغیرها در یکدیگر

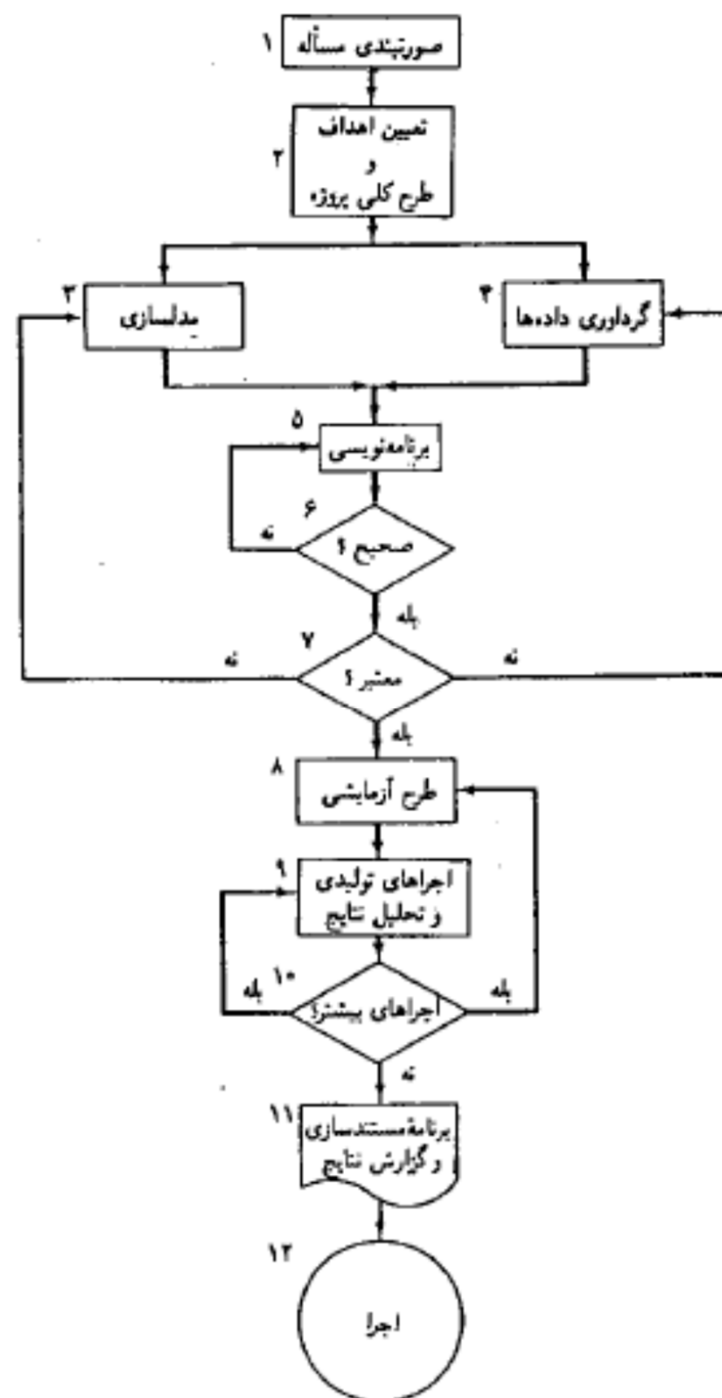
– فرض خطی بودن روابط

– افزودن محدودیت‌های بیشتر

– ترکیب

مراحل ساخت مدل شبیه سازی

- فرموله بندی و تعریف مساله
- تعیین اهداف و طرح کلی پروژه
- تحلیل مسئله
- جمع آوری داده اطلاعات
- ساخت مدل
- ممیزی مدل
- معتبر سازی مدل
- طراحی و اجرای آزمایش های شبیه سازی.
- تحلیل خروجی
- تفسیر و مستند سازی
- اجراء



انواع شبیه سازی

- Discrete Event System Simulation

• شبیه سازی سیستم گسسته پیشامد

- Continuous System Simulation

• شبیه سازی سیستم پیوسته

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.

برخی از کاربردها

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

کاربردها

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