

مقدمه ای بر

نشیه سازی سیستم های گسسته - پیشامد

همراه با مدل سازی ARENA

تألیف و ترجمه

دکتر مهدی علیقبیان

عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر حمیدرضا ایزدبخش

عضو هیات علمی دانشگاه خوارزمی

دکتر مرصیه زرین بال داسوله

دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی
سیستم‌های گسسته-پیشامد
به همراه مدل‌سازی در ARENA

به نام یگانه مهندس گیتی

مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی
سیستم‌های گسسته-پیشامد
به همراه مدل‌سازی در ARENA

ترجمه و تالیف:

دکتر مهدی علینقیان (عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر حمیدرضا ایزدبخش (عضو هیات علمی دانشگاه خوارزمی)

دکتر مرضیه زرین‌بال (دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

عنوان و نام پدیدآور : مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته-پیشامد به همراه مدل‌سازی در ارنه، ترجمه و تالیف: مهدی علینقیان، حمیدرضا ایزدبخش، مرضیه زرین‌بال
مشخصات نشر : تهران، موجک، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری : ۳۰۷ ص: مصور، نمودار، جدول
شابک : ۱۵۰,۰۰۰ ریال: ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۸۳۱-۶-۰
وضعیت فهرست‌نویسی : فیپا
یادداشت : مهدی علینقیان، حمیدرضا ایزدبخش، مرضیه زرین‌بال
رده‌بندی کنگره : ۱۳۹۰ م/۴/۵۲/۴۸۲ QA
رده‌بندی دیویی : ۰۰۵/۵۸
شماره کتابخانه ملی : ۴۵۷۸۹۱۲۶



انتشارات موجک

عنوان: شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته-پیشامد به همراه مدل‌سازی در ارنه
ترجمه و تالیف: مهدی علینقیان، حمیدرضا ایزدبخش، مرضیه زرین‌بال
ناشر: موجک
تیراژ: ۱۰۰۰
چاپ اول: ۱۳۹۳
قیمت: ۱۵۰,۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۳۸۳۱-۶-۰
تلفن مرکز پخش:

(حقوق چاپ و نشر دائم این اثر محفوظ و مخصوص مترجمین و مولفین است).

تقدیر به حضرت علی (ع)

دانا کسی است که در یاد آنچه می‌داند، در برابر آنچه نمی‌داند، اندک است و بدین سبب خود را نادان شمارد؛ بهمدد آنچه دریافته است، بر کوشش خود در جست‌وجوی دانش بیفزاید و پیوسته جوینده و شیفته دانش باشد و از آن بهره‌گیرد.

در هر حرفه‌ای که هستید نماجا زه درهید که به بد بینی های بی حاصل درچار شوید و نه
بگذارید که بعضی لحظات تاسف باری که برای هر ملتی پیش می آید شما را به یاس و ناامیدی
بکشاند. در آرامش حاکم بر آزمایشگاه‌ها و کتابخانه‌ها پتان زندگی کنید.

نخست از خود پرسید:

برای یادگیری چه کرده‌ام؟

سپس همچنان که به پیش می‌روید، پرسید:

برای کشورم چه کرده‌ام؟

و این پرسش را آنگاه که ادا کرده‌اید تا به این احساس شادی بخش و هیجان انگیز برسید که

شاید سهم کوچکی در پیشرفت و اعتلای بشریت داشته‌اید. اما هر یاداشی که زندگی به

تلاشهای تان بدهد یا ندهد، هنگامی که به پایان تلاش‌هایمان نزدیک می‌شویم، هر کد امرمان

باید حق آن را داشته باشیم که با صدای بلند بگوئیم:

من آنچه در توان داشته‌ام انجام داده‌ام!

لویی پاستور

مقدمه

شبیه‌سازی ابزاری است برای تحلیل "چه می‌شود-اگر" قبل از آنکه "چه می‌شود-اگر" اتفاق افتد. به عبارت دیگر، شبیه‌سازی ابزاری است قدرتمند برای مدل‌سازی و ارزیابی طیف وسیعی از سیستم‌ها. هدف این کتاب ارائه مطالب آموزشی پایه‌ای از جنبه‌های مهم شبیه‌سازی گسسته-پیشامد با تاکید خاص بر مثال‌هایی از سیستم‌های تولید، خدمات و کامپیوتر به منظور بیان هر چه بهتر اصول و کاربردهای شبیه‌سازی است.

کاربرد شبیه‌سازی تحلیل و بررسی سیستم‌های پیچیده‌ای است که با روش‌های تحلیلی قادر به تحلیل مناسب آنها نیستیم. با توجه به پیچیده بودن بسیاری از سیستم‌هایی که در حوزه تئوری و یا کاربرد با آنها سر و کار داریم شبیه‌سازی یک ضرورت برای فراگیری محسوب می‌شود. مطالب این درس برای دانشجویان رشته‌های مهندسی و علوم کامپیوتر و مدیریت طراحی شده است. در عین حال برای کارشناسانی که با تحلیل و طراحی سیستم‌ها سر و کار دارند مفید است.

این کتاب حاصل تجربیات نویسندگان در تدریس دروس اصول شبیه‌سازی و شبیه‌سازی کامپیوتری در طول سالیان گذشته می‌باشد. به منظور غنی سازی مطالب کتاب، سعی شده است که تا حد امکان از نکات برجسته دیگر منابع به روز در این حوزه همچون ویراست پنجم شبیه‌سازی پیشامد گسسته نوشته دکتر جری بنکس و همکاران (۲۰۱۰) و شبیه سازی با ارنا نوشته دکتر کلتون و همکاران (۲۰۱۴) بهره برده شود تا اثری روان و تا حد امکان غنی و کاربردی خلق شود.

برخود لازم می‌دانیم از اساتیدی چون جناب آقای دکتر هاشم محلوجی، دکتر محمد علی آزاده و دکتر سید ابوالفضل واقفی که دانش اندک خود را در حوزه شبیه‌سازی از آنها داریم کمال قدردانی را داشته باشیم.

بر این باوریم که به رغم تلاش‌های فراوان، کتاب حاضر از کاستی و خطا تهی نیست و از تمامی اساتید و دانشجویان تقاضا داریم که ضمن اغماض از کاستی‌های کتاب، نظرات و پیشنهادهای خود را از طریق پست الکترونیکی Simulation@chmail.ir اطلاع دهند تا در ویرایش‌های بعدی اصلاح و اعمال شود.

فهرست مطالب

۲-۲ بازی پرتاب سکه.....	۳۲
۳-۲- شبیه‌سازی سیستم صف در یک صفحه گسترده.....	۳۴
۱-۳-۲ مدل‌های خط انتظار.....	۳۵
۲-۳-۲ شبیه‌سازی صف تک مجرایبی	۴۰
۴-۲ خلاصه.....	۴۶
مسائل.....	۴۷

فصل سوم: اصول کلی شبیه‌سازی

۱-۳ مفاهیم شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته - پیشامد.....	۵۲
۲-۳ دیدگاه‌های کلی در شبیه‌سازی.....	۵۴
۱-۲-۳ رهیافت زمان‌بندی پیشامدها و جلوگیری زمان.....	۵۴
۲-۲-۳ رهیافت تعامل فرایند.....	۵۸
۳-۲-۳ رهیافت پوشش فعالیت.....	۵۹
۳-۳ شبیه‌سازی دستی با استفاده از زمان‌بندی پیشامد.....	۵۹
۴-۳ خلاصه.....	۷۱
مسائل.....	۷۲

فصل چهارم: مدل‌های آماری در شبیه‌سازی

۱-۴ یادآوری اصطلاحات و اصول.....	۷۶
۱-۱-۴ متغیرهای تصادفی گسسته.....	۷۶
۲-۱-۴ متغیرهای تصادفی پیوسته.....	۷۷
۳-۱-۴ تابع توزیع تجمعی.....	۷۹
۴-۱-۴ امید ریاضی.....	۸۰
۲-۴ مدل‌های آماری کاربردی.....	۸۲
۱-۲-۴ سیستم‌های صف.....	۸۲

فصل اول: مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی

۱-۱ چه زمانی شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار مناسب عمل می‌کند.....	۲
۲-۱ چه زمانی شبیه‌سازی مناسب نیست.....	۳
۳-۱ مزایا و معایب شبیه‌سازی.....	۴
۴-۱ زمینه‌های کاربرد.....	۶
۵-۱ آینده شبیه‌سازی.....	۷
۶-۱ سیستم و محیط سیستم.....	۸
۷-۱ اجزای یک سیستم.....	۸
۸-۱ سیستم‌های گسسته و پیوسته.....	۹
۹-۱ مدل یک سیستم.....	۱۱
۱۰-۱ انواع مدل‌ها.....	۱۱
۱۱-۱ شبیه‌سازی سیستم گسسته-پیشامد.....	۱۲
۱۲-۱ مراحل یک شبیه‌سازی.....	۱۳
۱۳-۱ مراحل شبیه‌سازی در ۴ فاز کلی.....	۱۷
مسائل.....	۱۸

فصل دوم: مثال‌هایی از شبیه‌سازی

۱-۲ مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزارهای صفحه‌گسترده.....	۲۲
۱-۱-۲ پارامترهای تصادفی.....	۲۲
۲-۱-۲ تولید ارقام تصادفی.....	۲۳
۳-۱-۲ شبیه‌سازی انداختن سکه.....	۲۴
۴-۱-۲ شبیه‌سازی زمان خدمت‌دهی تصادفی.....	۲۵
۵-۱-۲ چگونگی شبیه‌سازی زمان‌های ورود تصادفی.....	۲۷
۶-۱-۲ چهارچوب شبیه‌سازی در صفحه‌گسترده.....	۲۹

۱-۵	ویژگی‌های اعداد تصادفی.....	۱۲۹
۲-۵	تولید اعداد شبه تصادفی.....	۱۳۰
۳-۵	تکنیک‌های تولید اعداد تصادفی.....	۱۳۲
۱-۳-۵	روش هم‌نهشت خطی.....	۱۳۲
۲-۳-۵	مولدهای هم‌نهشت خطی ترکیبی.....	۱۳۲
۴-۵	آزمون‌های اعداد تصادفی.....	۱۳۴
۱-۴-۵	آزمون‌های فراوانی.....	۱۳۵
۲-۴-۵	آزمون‌های خودهمبستگی.....	۱۳۹
۵-۵	خلاصه.....	۱۴۲
	مراجع.....	۱۴۲
	مسائل.....	۱۴۳

فصل ششم: تولید مقادیر تصادفی

۱-۶	روش تبدیل معکوس.....	۱۴۶
۱-۱-۶	توزیع نمایی.....	۱۴۶
۲-۱-۶	توزیع یکنواخت.....	۱۴۹
۳-۱-۶	توزیع ویبول.....	۱۵۱
۴-۱-۶	توزیع مثلثی.....	۱۵۱
۵-۱-۶	توزیع‌های تجربی پیوسته.....	۱۵۳
۶-۱-۶	توزیع‌های گسسته.....	۱۵۶
۲-۶	روش قبول-رد.....	۱۶۱
۱-۲-۶	توزیع پواسون.....	۱۶۲
۲-۲-۶	فرایند پواسون ناپایستا.....	۱۶۵
۳-۶	روش‌های مبتنی بر ویژگی‌های خاص.....	۱۶۶
۱-۳-۶	تبدیل مستقیم برای توزیع‌های نرمال و نرمال لگاریتمی.....	۱۶۶
۲-۳-۶	روش پیچش.....	۱۶۸
۴-۶	خلاصه.....	۱۶۹
	مراجع.....	۱۶۹

۲-۲-۴	سیستم‌های موجودی و زنجیره تامین.....	۸۵
۳-۲-۴	پایایی.....	۸۶
۴-۲-۴	داده‌های محدود.....	۸۶
۵-۲-۴	سایر توزیع‌ها.....	۸۷
۳-۴	توزیع‌های گسسته.....	۸۷
۱-۳-۴	آزمون‌های برنولی و توزیع برنولی.....	۸۷
۲-۳-۴	توزیع دو جمله‌ای.....	۸۸
۳-۳-۴	توزیع‌های هندسی و دو جمله‌ای منفی.....	۸۹
۴-۳-۴	توزیع پواسون.....	۹۰
۴-۴	توزیع‌های پیوسته.....	۹۲
۱-۴-۴	توزیع یکنواخت.....	۹۲
۲-۴-۴	توزیع نمایی.....	۹۴
۳-۴-۴	توزیع گاما.....	۹۷
۴-۴-۴	توزیع ارلنگ.....	۹۸
۵-۴-۴	توزیع نرمال.....	۱۰۱
۶-۴-۴	توزیع ویبول.....	۱۰۸
۷-۴-۴	توزیع مثلثی.....	۱۱۰
۸-۴-۴	توزیع نرمال لگاریتمی.....	۱۱۳
۹-۴-۴	توزیع بتا.....	۱۱۵
۵-۴	فرایند پواسون.....	۱۱۶
۱-۵-۴	خصوصیات فرایند پواسون.....	۱۱۸
۲-۵-۴	فرایند‌های پواسون ناپایستا.....	۱۲۰
۶-۴	توزیع‌های تجربی.....	۱۲۱
۷-۴	خلاصه.....	۱۲۴
	مراجع.....	۱۲۵
	مسائل.....	۱۲۵

فصل پنجم: تولید اعداد تصادفی

۲۲۰.....	۴-۸ خلاصه.....	۱۶۹.....	مسائل.....
۲۲۱.....	مراجع.....		فصل هفتم: مدل سازی ورودی
۲۲۲.....	مسائل.....	۱۷۴.....	۱-۷ جمع آوری داده ها.....
	فصل نهم: تحلیل خروجی شبیه سازی	۱۷۷.....	۲-۷ تعیین توزیع داده ها.....
	۱-۹ انواع شبیه سازی ها بر اساس تحلیل	۱۷۷.....	۱-۲-۷ هیستوگرام.....
۲۲۶.....	خروجی.....	۱۷۹.....	۲-۲-۷ انتخاب خانواده توزیع ها.....
۲۲۸.....	۲-۹ ماهیت تصادفی داده های خروجی.....		۳-۲-۷ نمودارهای چندک- چندک
۲۲۹.....	۳-۹ معیارهای عملکرد مطلق و برآورد آنها.....	۱۸۱.....
۲۳۰.....	۱-۳-۹ برآورد کننده نقطه ای.....	۱۸۴.....	۳-۷ برآورد پارامتر.....
۲۳۱.....	۲-۳-۹ برآورد فاصله اطمینان.....	۱۹۰.....	۴-۷ آزمون های نیکویی برازش.....
	۴-۹ تحلیل خروجی برای شبیه سازی های	۱۹۰.....	۱-۴-۷ آزمون مربع کای.....
۲۳۳.....	منقطع.....	۱۹۰.....	۲-۴-۷ آزمون نیکویی برازش کلموگروف-
۲۳۳.....	۱-۴-۹ پیش زمینه آماری.....	۱۹۳.....	اسمیرنف.....
	۲-۴-۹ فواصل اطمینان با دقت مشخص	۱۹۵.....	۵-۷ مفهوم P_Value.....
۲۳۶.....	۱۹۵.....	۶-۷ برازش یک فرایند پواسون نایستا.....
	۵-۹ تحلیل خروجی برای شبیه سازی های		۷-۷ انتخاب مدل های ورودی بدون
۲۳۷.....	حالت پایا.....	۱۹۷.....	داده.....
۲۳۷.....	۶-۹ خلاصه.....	۱۹۸.....	۸-۷ خلاصه.....
۲۳۷.....	مراجع.....	۱۹۸.....	مراجع.....
۲۳۸.....	مسائل.....	۱۹۹.....	مسائل.....
	فصل دهم: مدل سازی ارنا		فصل هشتم: واریسی، کالیبراسیون و
۲۳۹.....	۱-۱۰ مدل سازی پایه ای.....		اعتبارسنجی مدل های شبیه سازی
۲۵۲.....	۲-۱۰ متحرک سازی مدل.....	۲۰۲.....	۱-۸ ساخت مدل، واریسی و اعتبارسنجی.....
	۳-۱۰ مدل سازی تصمیم، تخصیص و ثبت با	۲۰۳.....	۲-۸ واریسی مدل های شبیه سازی.....
۲۵۵.....	ارنا.....	۲۰۶.....	۳-۸ کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل ها.....
۲۷۰.....	۴-۱۰ مثال های کوتاه.....	۲۰۸.....	۱-۳-۸ اعتبار صوری.....
۲۷۰.....	۱-۴-۱۰ دو خدمت دهنده موازی.....	۲۰۹.....	۲-۳-۸ اعتبارسنجی فرض ها مدل.....
۲۷۱.....	۲-۴-۱۰ یک سیستم کامپیوتری.....		۳-۳-۸ تعیین اعتبار تبدیل های ورودی-
۲۷۳.....	۳-۴-۱۰ مرکز سوئیچینگ پیغام.....	۲۱۰.....	خروجی.....
۲۷۴.....	۴-۴-۱۰ نگهداری و تعمیر.....		۴-۳-۸ تعیین اعتبار ورودی-خروجی:
۲۷۶.....	۵-۱۰ خلاصه.....	۲۲۰.....	استفاده از آزمون تورینگ.....

٢٧٦.....	مراجع
٢٧٧.....	مسائل
٢٧٩.....	ضميمه

فصل ۱:

مقدمه‌ای بر شبیه‌سازی

شبیه‌سازی تقلیدی از یک سیستم یا عملیات در طول زمان است. چه با دست و چه با کامپیوتر، شبیه‌سازی با ایجاد تاریخچه‌ای مجازی از داده‌های مربوط به سیستم و مشاهدات مرتبط با آن به دنبال مشخص نمودن روابط موجود بین عناصر سیستم است.

یک مدل شبیه‌سازی به طور معمول با توجه به یک سری از فرضیات مرتبط با سیستم که از شناخت سیستم بدست آمده است شکل می‌گیرد. وقتی شبیه‌سازی شکل گرفت و اعتبارسنجی گشت، مدل ساخته شده می‌تواند برای طیف گسترده‌ای از سوال‌های "چه می‌شود اگر" در جهان واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تغییراتی که پتانسیل اعمال آنها در سیستم وجود دارد می‌تواند در گام اول در شبیه‌سازی در نظر گرفته شود تا تأثیر این تغییرات بر عملکرد سیستم بررسی گردد. از شبیه‌سازی همچنین می‌توان در مطالعه سیستم‌ها در مرحله طراحی و قبل از ساخت بهره گرفت. بنابراین شبیه‌سازی به عنوان ابزاری تحلیلی برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات بر سیستم موجود و یا به عنوان ابزار طراحی برای پیش‌بینی عملکرد سیستم‌های جدید تحت مجموعه‌ای از شرایط گوناگون محیطی استفاده می‌گردد.

در برخی اوقات، مدل مورد بررسی به حدی ساده است که با روش‌های ریاضی قابل حل است. در این دسته از مسائل، حل مدل با استفاده از معادلات دیفرانسیل، تئوری احتمال، معادلات جبری و یا دیگر تکنیک‌های ریاضی امکان پذیر می‌گردد. با این وجود، بسیاری از سیستم‌ها در جهان واقعی به حدی پیچیده می‌باشند که مدل‌سازی آنها با استفاده از حل ریاضی غیرممکن است. در این مسائل، محاسبات عددی و شبیه‌سازی کامپیوتری می‌تواند برای مدل‌سازی رفتار سیستم در طول زمان مورد استفاده قرار گیرد. در شبیه‌سازی، داده‌ها بگونه‌ای جمع‌آوری می‌شوند که گویا سیستم واقعی در حال مشاهده است. داده‌هایی که از طریق شبیه‌سازی تولید شده‌اند به منظور تخمین شاخص‌های عملکرد سیستم واقعی استفاده می‌شوند.

این کتاب مقدمه‌ای بر مفاهیم و روش‌های یکی از انواع شبیه‌سازی (شبیه‌سازی گسسته-پیشامد) را فراهم می‌آورد. اولین فصل این کتاب به بررسی موارد استفاده از شبیه‌سازی، مزیت‌ها و معایب و همچنین موارد کاربرد آن می‌پردازد. در ادامه، اهداف استفاده از شبیه‌سازی بحث می‌گردد. در نهایت نیز جمع‌بندی مراحل شکل‌گیری و استفاده از شبیه‌سازی در مدل‌سازی سیستم‌ها به صورت گام به گام مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱- چه زمانی شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار مناسب عمل می‌کند

استفاده از نرم افزارهای جدید، امکان انجام محاسبات بسیار زیاد و با قیمت تمام شده پایین را به وجود آورده است. همچنین، پیشرفت‌های چشم‌گیر در زمینه شبیه‌سازی باعث شده است که شبیه‌سازی به عنوان یکی از پرکاربردترین و قابل قبول‌ترین روش‌های تحلیل سیستم‌ها مطرح گردد. شرایطی که در آنها شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار مناسب عمل می‌کند توسط بسیاری از نویسندگان از جمله نیلور و همکاران در سال ۱۹۶۶ تا شانون در سال ۱۹۹۸ بحث گردیده است. به طور کلی شبیه‌سازی می‌تواند برای اهداف زیر مورد استفاده قرار گیرد:

۱. شبیه‌سازی امکان مطالعه و بررسی ارتباط متقابل بین اجزای سیستم‌های پیچیده و همچنین ارتباط سیستم‌های کوچکتر با سیستم‌های پیچیده را فراهم می‌آورد.
۲. اطلاعاتی که در طول طراحی مدل شبیه‌سازی مورد نظر بدست می‌آید می‌تواند ارزش قابل توجهی در پیشنهادات آتی در جهت بهبود سیستم مورد مطالعه داشته باشند.
۳. تغییر دادن متغیرهای ورودی شبیه‌سازی و مشاهده نتایج حاصل آنها می‌تواند دیدگاهی ارزشمند در جهت تشخیص متغیرهای تأثیرگذار و متغیرهای بدون تأثیر سیستم به وجود آورد.
۴. شبیه‌سازی را می‌توان به عنوان یک ابزار آموزشی، برای تقویت روش‌های تحلیلی پاسخ‌یابی به کار گرفت.
۵. شبیه‌سازی می‌تواند برای آزمایش طرح‌ها یا سیاست‌های جدید قبل از اجرایی کردن آنها مورد استفاده قرار گیرد تا ما را برای آنچه ممکن است اتفاق بیفتد آماده نماید.