«دانش مدیریت»
سال دوازدهم - شماره ۴۴ - بهار ۱۳۷۸
ص ص ۱۰۴ - ۸۶

شبیه‌سازی، کاربردها، نرم‌افزارهای کامپیوتری و آینده آن

دکتر حامدرضا طارقیان [۱]

چکیده مقاله

در این مقاله پس از معرفی شبیه‌سازی به عنوان پرکاربردترین روش علمی و تشریح مراحل مختلف اجرایی آن، برخی از کاربردهای واقعی آن را در زمینه‌های مختلف ارائه می‌دهیم. تحقیقات اخیر در زمینه نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بر روی خودکار کردن فرایند مدلسازی متمرکز شده‌اند. این نرم‌افزارها را می‌توان به سه دسته مولد برنامه، مدلساز سیستم‌های خاص و مدلساز چند منظوره تقسیم کرد. مروری بر امکانات این نرم‌افزارها و بحثی در بارهٔ تحقیقات آینده در زمینه شبیه‌سازی بخش دیگری از این مقاله را تشکیل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

شبیه‌سازی - مدلسازی کامپیوتری - نرم‌افزار کامپیوتری.

مقدمه

شبیه‌سازی پرکاربردترین روش تحقیق در عملیات است [۲،۱۷]. تنها روشی که عملاً از

Vol. 33, Special Issue, 1993, pp. 17-39.

14- Thurow, L. C., "Competing Nations: Survival of the Fittest", **Sloan Management Review**, Fall 1990, pp. 95-97.

15- Van Den Bosch, Frans, A. J., & Van Prooijen, Arno, A., "The Competitive Advantage of European Nations: The Impact of National Culture - A Missing Element in Porter's Analysis?" **European Management Journal**, Vol. 10, No. 2, June 1992, pp. 173-178.

16- Yetton, P., Craig, J., Davis, J., & Hilmer, F., "Are Diamonds a Country's Best Friend? A Critique of Porter's Theory of National Competition as Applied to Canada", New Zealand and Australia, **Australian Journal of Management**, Vol. 17, No. 1, June 1992, pp. 89-119.

17- Yoffie, D. B., **"International Trade and Competition"**, Singapore: McGraw - Hill, 1994.

شبیه‌سازی پیش افتاده بینش شهودی و آمار کاربردی است. تحقیقاتی که در دهه ۸۰ میلادی در بین ۱۳۷ واحد بزرگ صنعتی تولیدی صورت گرفت نشان داد که شبیه‌سازی پس از تجزیه و تحلیل آماری بیشترین کاربرد عملی را در میان چهارده روش مختلف علمی داشته است[۴۰]. تحقیقات دیگری در اوایل دهه ۹۰ به نتایج مشابهی دست یافت[۱۴]. بسته نرم‌افزاری شبیه‌سازی ساخت شرکتی که در ارزیابی برنامه‌های مختلف تولیدی در یک پالایشگاه نفت به کار گرفته شد، توانست روزانه قریب ۲۵۰۰۰۰ پوند صرفه‌جویی برای پالایشگاه به ارمغان بیاورد[۲۳]. دست‌اندرکاران امور دفاعی که از عمده کاربران شبیه‌سازی هستند، غالباً اظهار می‌دارند که کاربرد شبیه‌سازی در سیستم‌های دفاعی توانسته است از بسیاری از هزینه‌های غیرضرور جلوگیری کند.

شبیه‌سازی تعریف کلاسیک روش حل مسأله نیست، بلکه بستر مناسبی برای درک بهتر و بیشتر مسأله است [۲۴]. از شبیه‌سازی غالباً برای بررسی مسایل و فرایندهای پیچیده و دشوار استفاده می‌کنند. مسایل و فرایندهایی که یا هیچ کس به تنهایی آنها را به خوبی درک نمی‌کند و یا اتفاق آرایی بین گروه‌های کارشناس در مورد آنها وجود ندارد و لذا از شبیه‌سازی به عنوان ابزاری برای بحث و بررسی در راستای درک بهتر آنها استفاده می‌کنند. بارها اتفاق افتاده که فرایند شبیه‌سازی قبل از اجرا و حصول پاسخ برای مسأله متوقف گردیده است زیرا در طی شبیه‌سازی درک بهتری از مسأله حاصل، و راه حلی برای آن به ذهن متبادر شده است. از این رو انجام آزمایش‌های آماری با مدل برای حصول نتایج عددی همیشه ضروری نیست. اما در موارد بسیاری استنتاج از طریق شبیه‌سازی تنها به وسیله الگوهای آماری میسر است.

در چند ساله اخیر اقدامات و پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه شبیه‌سازی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توانیم به بهسازی متدلوژی شبیه‌سازی، تدوین بسته‌های نرم‌افزاری جدید، گسترش بسته‌های نرم‌افزاری موجود و تشکیل گروه‌های پژوهشی در زمینه شبیه‌سازی اشاره کنیم.

برای نشان دادن کاربردی بودن شبیه‌سازی دلایل دیگری نیز می‌توانیم ارائه کنیم. هر ساله در نسخه ماه اکتبر مجله معتبر شبیه‌سازی که به وسیله انجمن آمریکایی شبیه‌سازی

کامپیوتری[1] منتشر می‌شود، تعدادی از نرم‌افزارهای مختلف شبیه‌سازی معرفی می‌شوند. در نسخه اکتبر سال قبل، بیش از ۱۵۰ نوع از این نرم‌افزارها معرفی شده است [۲۴]. اگر فرض کنیم که بیشتر این نرم‌فزارها سودآور بوده‌اند بناچار باید بپذیریم که تقاضای شایان توجهی برای این نرم‌افزارها وجود داشته است.

تشکیل گروه‌های مختلف پژوهشی، شاخص دیگری برای گستردگی فعالیت‌های علمی کاربردی در زمینه شبیه‌سازی است؛ به عنوان مثال در انگلستان حداقل ۵ گروه پژوهشی در دانشگاه‌های مختلف در زمینه شبیه‌سازی فعالیت دارند. این ۵ گروه در مدرسه اقتصاد لندن[2]، امپریال کالج[3]، دانشگاه واریک[4]، دانشگاه لنکستر[5] و دانشگاه ساتمپتون[6] مستقر هستند. در سال ۱۹۸۷ مجله تحقیق در عملیات، که توسط انجمن تحقیق در عملیات[7] منتشر می‌شود، یک نسخه کامل خود را به مقالات مربوط به کاربردهای شبیه‌سازی اختصاص داد. انجمن‌های اروپایی و آمریکایی شبیه‌سازی به طور منظم کنفرانس‌هایی را برگزار می‌کنند و مجموعه مقالات ارائه شده را به چاپ می‌رسانند.

به این ترتیب ملاحظه می‌شود که شبیه‌سازی، روشی توانمند، پرکاربرد و از نظر علمی مورد توجه است. انعطاف‌پذیری و توانمندی کامپیوترها از یکسو و کاهش قیمت آنها از سوی دیگر، بستر مناسبی برای شبیه‌سازی فراهم کرده است. البته باید اذعان داشت که به رغم این بستر مناسب، توان بالقوه شبیه‌سازی به عنوان روشی علمی هنوز به طور کامل مورد استفاده قرار نگرفته است. یک راه برای استفاده هر چه بیشتر از این نیروی بالقوه، خودکار کردن هر

1- American Society for Computer Simulation

2- London School of Economics

3- Imperial College

4- Warwick University

5- Lancaster University

6- Southampton University

چه بیشتر فرایند شبیه‌سازی است و این مهم تنها از طریق شناخت فرایند شبیه‌سازی و درک بهتر مراحل اجرایی آن میسر می‌شود.

در بخش‌های بعدی این مقاله به تشریح شبیه‌سازی، تعریف ساختارهای متفاوت مدلسازی شبیه‌سازی، معرفی زمینه‌های واقعی کاربرد شبیه‌سازی، ارائه فهرستی از نرم‌افزارهای کامپیوتری شبیه‌سازی به طور کل و مدیریت تولید به طور خاص و به بحث در بارهٔ آینده شبیه‌سازی خواهیم پرداخت. اما در آغاز لازم است کاربرد شبیه‌سازی در یک مورد خاص را توجیه کنیم. دلایل بیشماری از جمله خوبی‌های شبیه‌سازی باعث می‌شود تا از این روش در حل یک مسأله و یا تجزیه و تحلیل یک سیستم استفاده کنیم. اما معمولاً هنگامی از شبیه‌سازی استفاده می‌کنیم که به دلیل وسعت و پیچیدگی سیستم تحت بررسی نتوانیم آن را به کمک روش‌های تحلیلی موجود حل کنیم [۱۷،۱۹،۲۲].

چگونه شبیه‌سازی کنیم؟

بیست مأخذ علمی مختلف را برای تعیین مراحل گوناگونی، که در شبیه‌سازی سیستم‌های گسسته به اجرا در می‌آیند، بررسی کردیم. مراجع [۳۸ ، ۳۴ ، ۳۲ ، ۳۰ ، ۲۷ ، ۲۵ ، ۲۲ ، ۲۱ ، ۱۹ ، ۱۷ ، ۱۲ ، ۱۰ ، ۸ ، ۷] از آن جمله‌اند. حاصل این جستجو جدول شماره ۱ است که علاوه بر عنوان هر مرحله، تعداد دفعاتی را که آن مرحله خاص در بین ۲۰ مأخذ پیشگفته قید گردیده است، نشان می‌دهد.

یادآوری دو نکته در مورد جدول شماره ۱ ضروری به نظر می‌رسد. اولاً الزاماً هر اجرای شبیه‌سازی انجام تک به تک و ترتیبی مراحل فوق را دربر نمی‌گیرد. در یک شبیه‌سازی ممکن است مجبور به اجرای چندین باره یک مرحله مثلاً مرحله ۱۰ شویم و یا مرحله‌ای را مثلاً ۴، اصلاً به اجرا درنیاوریم. مضافاً در عمل بیشتر این مراحل به صورت موازی به اجرا در می‌آیند. ثانیاً مراحلی که در مآخذ کمتری به عنوان مراحل شبیه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند به دلیل کم اهمیت بودن این مراحل نیست، بلکه از دید برخی از مؤلفان این مراحل در مراحل دیگر شبیه‌سازی مستتر هستند مثل مرحله ۹ که غالباً جزئی از مرحله ۱۰ تلقی، و معمولاً به

جدول شماره ۱ - مراحل گوناگون اجرای شبیه سازی

شماره مرحله	عنوان مرحله	فراوانی از ۲۰
۱	شناخت مشکل و تعریف هدف	۲۰
۲	تعیین ساختار مناسب برای مدلسازی کامپیوتری	۴
۳	شناخت و تعیین منابع اطلاعاتی	۱۰
۴	جستجو برای انطباق الگوی تحلیلی مناسب برای سیستم و حل آن	۱۰
۵	برنامه‌ریزی استراتژیک (طراحی آزمایش)	۱۸
۶	برنامه‌ریزی تاکتیکی (شرایط اولیه و پایانی، طول اجرا، تعداد اجراها)	۱۸
۷	کدکردن مدل منطقی برای اجرا بر روی کامپیوتر	۲۰
۸	کسب اطمینان از درستی برنامه کامپیوتری	۲۰
۹	تعیین نیاز برای داده‌های اولیه و جمع‌آوری آن	۱۵
۱۰	کسب احراز اعتبار مدل	۲۰
۱۱	اجرای آزمایش‌ها	۲۰
۱۲	تجزیه و تحلیل آماری نتایج به دست آمده	۲۰
۱۳	بر اساس نتایج حاصله ، ارائه پیشنهادهای اصلاحی	۱۰
۱۴	مستند سازی	۵

برخی از کاربردهای واقعی شبیه‌سازی

همان گونه که اشاره شد شبیه‌سازی، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف از جمله انرژی هسته‌ای، سیستم‌های فضایی، هوایی، دریایی، زمینی، جوی، مسائل مالی و اقتصادی، تولیدی و صنعتی، توسعه‌ای، بازرگانی، اجتماعی؛ سیستم‌های کامپیوتری، مراقبت‌های پزشکی و امنیتی، سیستم‌های اکولوژیکی و بیولوژیکی و ... دارد. ارائه فهرست جامعی از کاربردهای شبیه سازی به دلیل وسعت دامنه کاربرد آن، کار دشواری است. از این رو تنها به معرفی چند زمینه که بیانگر کاربردهای چندگانه آن است بسنده می‌کنیم. ضمناً خواننده

آنها استخراج کرده‌ایم، به مرجع [۳۰] ارجاع می‌دهیم.

۱ - مدیریت تولید :	۲ - سیستم‌های حمل و نقل :
- طراحی کارخانه	- عملکرد قطارهای مسافربری شهری بین شهری
- ارتقای بهره‌وری	- برنامه زمان‌بندی اتوبوسهای شهری و بین‌شهری
- تخصیص نیروی انسانی	- کنترل ترافیک هوایی و دریایی
- تولید به کمک کامپیوتر	- استفاده بهینه از منابع فرودگاهی و بندری
- تحقیق و توسعه	- مدیریت سیستم‌های توزیع شهری و بین‌شهری [۱]
- انتقال مواد در کارخانه	- طراحی و مدیریت ترافیک درون شهری
- کنترل موجودی‌ها و کاهش ضایعات	
- زمان‌بندی مراحل تولید	
۳ - برنامه‌ریزی مالی [۳،۱۳]	**۴ - کامپیوتر و سیستم‌های ارتباطاتی:**
- مدل‌های اقتصادسنجی	- ارزیابی عملکرد سیستم‌های کامپیوتری
- تحلیل جریان نقدینگی	- طراحی میکرو پروسسورها
- الگوهای شرکت‌های بازرگانی	- ارزیابی توانایی‌های نرم‌افزاری
- سرمایه گذاری‌ها	- تعیین نیازهای اطلاعاتی در یک سیستم اطلاعاتی
۵ - سیستم‌های امنیتی و بهداشتی :	**٦ - سیستم‌های اکولوژیکی :**
- مدیریت موجودی بانکهای خون	- کنترل و تأمین منابع غذایی
- مدیریت خدمات اورژانس، آتش‌نشانی و پلیس [۴،۵]	- حفاظت راکتورهای اتمی و محیط زیست
- برنامه‌ریزی امکانات بیمارستانی [۱۶]	- کنترل جمعیت
- برنامه‌ریزی پرسنلی	- کنترل آفات و حشرات
- استراتژیهای جنگی	- مسایل بهزراعی
- رویارویی با حوادث غیرمترقبه [۱۵،۱۶]	- استفاده بهینه از منابع انرژی و آب [۱۱]

مدلسازی شبیه‌سازی

مدلسازی شبیه‌سازی دارای حداقل سه ساختار متفاوت به نام‌های روش پردازش وقایع،[1] روش پردازش فرایندها[2] و روش سه مرحله‌ای[3] است [۲۷]. به عقیده بسیاری از شبیه سازان، تفاوت معنی‌داری بین این روش‌ها در مدلسازی شبیه‌سازی وجود ندارد [۲۴] آنها ادعا می‌کنند که هر ساختاری را با کمی دقت و هوشمندی می‌توان به گونه‌ای دستکاری کرد که مشابه ساختار دیگری شود. علاوه بر آن، وجود سیستم‌های خودکار شبیه‌ساز و مولدهای برنامه کامپیوتری شبیه‌سازی مسأله انتخاب روش مدلسازی را به طور کلی منتفی می‌کند. با وجود این درک ساختاری میان این روش‌ها اهمیت دارد. برای بررسی تفاوت‌های ساختاری این روش‌ها، هر یک از این سه روش معرفی می‌شود:

قبل از ارائه تعریفی از سه روش مدلسازی، لازم است دو روش معمول در پیشبرد زمان در شبیه‌سازی سیستم‌های پویا تعریف شود. کارآمدترین روش پیشبرد زمان در یک سیستم پویا روش واقعه‌گراست[4] که بر مبنای آن ساعت شبیه‌سازی پیوسته به زمان رخداد واقعه بعدی تغییر می‌یابد. در این روش، زمان با فاصله‌های نابرابر پیش برده می‌شود. در روش دوم که فاصله‌گرا[5] نامیده می‌شود به این دلیل که در سیستم تغییر وضعیت‌ها با فاصله‌های زمانی ثابت صورت می‌گیرند، زمان با فاصله‌های برابر پیش برده می‌شود.

ساختار مدلسازی پردازش فرایند دارای ساختاری مشابه زبان‌های برنامه‌نویسی شی‌گراست. اساس کار در این روش پیگیری حرکت اشیای گذرا (اجزایی از سیستم که درگذرند) در سیستم است. برای این منظور تمام وضعیت‌هایی که اشیایی گذرا در طول اقامتشان در سیستم در آنها قرار می‌گیرند به ترتیب زمانی تشریح و دنبال می‌شوند. تشریح

1- Evant Processing Method

2- Process Interaction Method

3- Three Phases Method

4- Next Evant

این وضعیت‌ها بر اساس زمان فرایند نامیده می‌شود؛ برای مثال در یک سیستم صفی ساده متقاضی به سیستم وارد می‌شود، ممکن است مدتی را برای بیکار شدن سرویس دهنده در صف سپری کند، سپس از سرویس دهنده سرویس می‌گیرد و سرانجام از سیستم خارج می‌شود. در پیگیری فرایند یک شی، حرکت آن شی تا رسیدن به یک نقطه توقف ادامه می‌یابد. این توقف‌ها غیر شرطی (اخذ سرویس) و یا شرطی (انتظار برای بیکار شدن سرویس دهنده) هستند. طول زمان توقف‌های غیر شرطی را می‌توان از طریق نمونه برداری تصادفی از توزیع‌های احتمال تعیین کرد. طول زمان توقف‌های شرطی تابعی از شرایط موجود در سیستم و از قبل غیر قابل پیش‌بینی است. در این روش هر شی گذرا دارای فرایندی است که به صورت یک زیر برنامه مستقل کد می‌شود. تعامل این اشیا به وسیله زیر برنامه‌ای به نام کنترل برنامه [1] صورت می‌گیرد.

دومین روش مدلسازی شبیه‌سازی، یعنی روش پردازش وقایع در آمریکا رایجتر از اروپاست. در این روش ابتدا تمام وقایع سیستم شناسایی می‌شوند. ساعت شبیه‌سازی پیوسته به زمان رخداد واقعه بعدی تغییر می‌یابد و سپس وضعیت سیستم به لحاظ رخداد واقعه جاری به طور کامل به روز آورده می‌شود. رخداد هر واقعه‌ای باعث تغییر وضعیت برخی از اشیای سیستم می‌شود و فعالیت‌هایی را که ممکن است اشیای تغییر وضعیت یافته در آن درگیر شوند، زمانبندی می‌کند، مثلاً در سیستم صف ساده، وقتی متقاضی وارد سیستم می‌شود و سرویس دهنده را بیکار می‌یابد، می‌تواند بلافاصله در فعالیت اخذ سرویس درگیر شود.

خوبی روش پردازش وقایع کارآیی در اجرای کامپیوتری است. یکی از مشکلات این روش وقتی بروز می‌کند که تعدادی واقعه در یک زمان پایان می‌یابند. ممکن است این وقایع ترکیبی از منابع را آزاد کنند که تخصیص مناسب و بهینه آنها وقتی امکانپذیر است که کل منابع آزاد شده مورد بررسی قرار بگیرند. در این روش به محض رخداد واقعی و آزاد سازی منابع ، این منابع به ترتیب و بدون توجه به منابع دیگری که ممکن است به لحاظ رخداد سایر وقایع

همزمان آزاد شده باشند، تخصیص می‌یابند. علاوه بر آن در مواردی که به هنگام تخصیص منابع اولویت‌هایی باید لحاظ شوند، تخصیص منابع با توجه به اولویت‌ها به سختی انجام می‌پذیرد. تلاش برای تخصیص مناسب منابع و یا تخصیص منابع بر اساس اولویت‌ها باعث می‌شود تا ساختار مدل تغییر یابد و دیگر کاملاً مطابق روش پردازش وقایع نباشد.

در روش سه مرحله‌ای، وقایع به دو دسته شرطی و غیر شرطی تقسیم می‌شود. ساعت پیوسته به زمان رخداد واقعه غیر شرطی بعدی تغییر می‌یابد. در این ساعت تمام وقایع غیر شرطی که زمان رخدادشان با ساعت شبیه‌سازی برابر است به وقوع می‌پیوندند. پس از آزاد سازی تمام منابعی که قرار است در آن ساعت آزاد شوند، تخصیص منابع به فعالیت‌ها در صورت امکان انجام می‌گیرد. پس سه مرحله این روش عبارتند از:

۱- بروز سازی ساعت و شناسایی وقایع غیر شرطی

۲- به وقوع پیوستن تمام وقایع غیر شرطی و نتیجتاً آزادسازی برخی از منابع

۳- شروع کردن برخی از فعالیت‌ها با توجه به آگاهی از وضعیت کلی منابع آزاد شده.

در روش سه مرحله‌ای نه تنها تخصیص منابع با توجه به اولویت‌ها به راحتی انجام می‌گیرد، بلکه در صورت نیاز، قواعد پیچیده‌ای را می‌توان برای این منظور لحاظ کرد. یکی از نقاط ضعف روش سه مرحله‌ای عدم کارآیی آن در اجرای کامپیوتری است. هر زمان که ساعت به روز آورده می‌شود، تمام وقایع شرطی برای تعیین اینکه آیا شرایط برای به وقوع پیوستن آنها فراهم گردیده یا خیر مورد بررسی قرار می‌گیرد. فراهم شدن شرایط لازم برای رخداد تمام وقایع به خاطر به وقوع پیوستن تنها یک واقعه غیر محتمل است. لذا در این مرحله ممکن است مدل جستجوهای غیر ضرور انجام دهد. البته تمهیداتی برای کارآمدتر کردن این روش پیشنهاد شده است (مثلاً [۳۵] را ببینید). نادیده نمی‌توان گرفت که بحث مربوط به زمان اجرا به کامپیوترهای نه چندان سریع نسل‌های گذشته مربوط می‌شود. مشکل مدلسازی کامپیوتری در عصر حاضر هزینه اجرای مدل نیست، بلکه هزینه وقت تحلیلگر در ساخت، تغییر و آزمایش با مدل است. آنچه امروزه مورد نیاز است، روش شبیه‌سازی است که در وقت تحلیلگر صرفه‌جویی کند.

چون برنامه کامپیوتری مبتنی بر روش سه مرحله‌ای به صورت مادولار کد می‌شود، ایجاد تغییرات به راحتی و به سرعت عملی می‌شود. بنابر این، اگر قرار است برنامه شبیه‌سازی به زبان‌های سطح بالا مثلاً پاسکال نوشته شود، آنگاه مسلماً سؤال کدام روش را انتخاب کنیم؟ مصداق پیدا می‌کند. استفاده دقیقاً منطبق بر قواعد روش سه مرحله‌ای منجر به ساختاری بسیار کارآمد و شفاف به لحاظ قابلیت پذیرش تغییرات و همچنین سرعت اجرا می‌گردد.

نرم‌افزارهای شبیه سازی

بررسی جامعی از متدلوژی‌های مختلف و سیستم‌های موجود در شبیه‌سازی به وسیله آر. جی. پال [۲۳] صورت گرفته است. برخی از بسته‌های نرم‌افزاری شبیه سازی اساساً داده‌گرا هستند؛ به این معنا که سیستم‌های چند منظوره‌ای هستند که با اخذ داده‌های لازم از کاربر مسأله خاص، او را تعریف می‌کنند و سپس به شبیه‌سازی آن می‌پردازند. خوبی اصلی این بسته‌ها در این است که کاربر را بی نیاز از برنامه‌سازی می‌سازند. با پیشرفت تکنولوژی و در دسترس بودن سیستم‌های گرافیکی می‌توان این بسته‌ها را تقریباً در دسترس همگان قرار داد. نقطه ضعف این سیستم‌ها مثل سایر سیستم‌های چند منظوره این است که کاربرد آنها برای مسائل خاصی که طرح آنها قبلاً در بسته نرم‌افزاری ریخته نشده، دشوار و در مواردی غیر ممکن است. هیچ برنامه اولیه‌ای وجود ندارد که با اضافه کردن و یا تغییر دادن آن، برنامه را به قالب مورد نظر درآورد.

راه حلی که بسته‌های نرم‌افزاری بسیاری برای این مشکل در نظر گرفته‌اند، مولد برنامه شبیه‌سازی است. در این سیستم‌ها کاربر یا تحلیلگر مسأله خود را در قالب داده یا به صورت گرافیکی تشریح می‌کند. آنگاه سیستم به طور خودکار برنامه‌ای را به زبان مورد نظر تحلیلگر، تولید و ارائه می‌کند. خوبی این سیستم‌ها در اختیار قرار دادن انعطاف پذیری بیشتر به تحلیلگر برای تولید مدل دلخواه و ایجاد تغییرات اساسی در آن است. آشنایی تحلیلگر با قواعد زبان برنامه نویسی برنامه تولید شده را شاید بتوان به عنوان نقطه ضعف این سیستم‌ها تلقی کرد.

ماکرو در اختیار تحلیلگر می‌گذارند و او با ترکیب این ماکروها برنامه مورد نظر خود را تدوین می‌کند. بدیهی است که در اینجا تحلیلگر کنترل بیشتری را می‌تواند روی مدل اعمال کند. نقطه ضعف این سیستم‌ها این است که تحلیلگر را ملزم به یادگیری زبان برنامه‌نویسی دیگری می‌کند.

سرانجام در دسته‌بندی نرم افزارهای شبیه‌سازی می‌توانیم مدل کامپیوتری در یک زبان سطح بالا به وسیله تحلیلگر را نیز یک دسته تلقی کنیم. هر چند این روش نیازمند این است که تحلیلگر امکانات زبان برنامه‌نویسی مورد نظر را به خوبی بداند اما عملاً این روش رایجترین روش برای شبیه‌سازی است. شایان توجه است که به غیر از مسائل کوچک که برای حل آنها شاید نیازی هم به شبیه سازی نباشد، به کارگیری این روش در مقایسه با نرم‌افزارهای دیگر، فرایندی طولانی و پرهزینه دارد.

برخی از سیستم‌های چند منظوره شبیه سازی را در ذیل معرفی می‌کنیم.

SIMSCRIPT II.5 : سیمسکریپت، زبان برنامه‌نویسی شبیه‌سازی ماکرو است که کاربردهای فراوانی در صنایع بویژه در صنایع دفاع داشته و دارد. این سیستم، مدل شبیه‌سازی را از دید اشیا، ویژگی‌های آنها و مجموعه‌ها یا صف‌ها می‌سازد. از این‌رو کاربر به راحتی می‌تواند اجزای سیستم واقعی را به اشیای مدل ارتباط دهد. این زبان اساساً مبتنی بر روش پردازش وقایع است. اما در صورت تمایل به صورت پردازش فرایند نیز در می‌آید. رابط بین مدل و کاربر یک بسته گرافیکی به نام SIMGRAPHIC است.

CAPS / ECSL : ECSL یک زبان برنامه‌نویسی شبیه‌سازی ماکرو است که برای استفاده روی کامپیوترهای بزرگ و شخصی طراحی شده است. نرم‌افزار CAPS در واقع رابط بین کاربر و ECSL است؛ یعنی داده‌های اولیه را از کاربر می‌گیرد و به صورت دستوراتی در زبان ECSL در می‌آورد. CAPS یکی از اولین سیستم‌های شبیه‌سازی مولد برنامه است. برنامه تولید شده، ساختاری مبتنی بر روش سه مرحله‌ای دارد. کاربر می‌تواند در صورت نیاز، زیر برنامه‌های فرترن را به دستورات ECSL متصل کند.

DRAFT / DRAWER / SSIM : این سیستم برای استفاده روی کامپیوترهای شخصی

زبان فرترن تولید می‌کند. DRAW امکان طراحی انیمیشن مدل تولید شده را میسر می‌سازد. آخرین زیر سیستم این مجموعه SSIM است که ورودی‌های DRAFT را در قالب دیاگرام سیکل فعالیت[1] طراحی می‌کند و در اختیار آن قرار می‌دهد.

SYSMOD: بسته نرم‌افزاری شبیه‌سازی مبتنی بر روش پردازش وقایع است که بیشترین کاربردهای خود را در صنایع دفاع داشته است. مدل‌های شبیه‌سازی مربوط به صنایع دفاع معمولاً خیلی بزرگ و پیچیده هستند. از این‌رو SYSMOD محیطی را فراهم می‌کند که بتواند با این پیچیدگی مقابله کند. این بسته زبان کامپیوتری با قواعدی شبیه زبان پاسکال و آدا[2] است. چون هدف اولیه از طراحی آن، مدلسازی سیستم‌های بزرگ و پیچیده بوده است، روی مینی کامپیوترها و کامپیوترهای بزرگ قابل اجراست.

SLAM II PC: این بسته دارای رابط انیمیشن است که قابلیت تعامل انیمیشنی را داراست. طراحان این بسته ادعا می‌کنند که به کمک SLAM II PC می‌توان مدل‌های شبیه‌سازی را بر اساس هر یک از سه روش پیشگفته طراحی و تولید کرد.

GPSS: این سیستم در دهه ۱۹۶۰ میلادی توسط شرکت IBM طراحی و به بازار عرضه گردید. امکانات محاسباتی و گرافیکی این سیستم چندان پیشرفته نیست. البته این کمبودها در نسخه‌های جدید این نرم‌افزار با نام‌های GPSS / PC و GPSS / H برطرف گردیده و امکانات انیمیشن نیز به آن افزوده شده است. این سیستم مبتنی بر روش پردازش فرایندها، و مناسب شبیه‌سازی سیستم‌هایی است که دارای ساختار صفی هستند.

WITNESS: این سیستم مبتنی بر اولین سیستم تصویری به نام SEE WHY است. سیستم WITNESS که برای کاربردهای صنعتی تولیدی ساخته شده، منوگراست. مدل ساخته شده را هنگام اجرا می‌توان تغییر داد و پاسخی برای سؤالات «چه می‌شود اگر؟» به دست آورد. در صورتی که مسأله کاربر با توانایی‌های سیستم سازگاری نداشته باشد، آنگاه امکان اضافه کردن کد به سیستم وجود دارد.

1- Activity Cycle Diagram

HOCUS: این سیستم که عمری ۲۰ ساله دارد و داده‌گراست، داده‌های مورد نیاز خود را از طریق دیاگرام سیکل فعالیت دریافت می‌کند. در نسخه‌های اخیر وجود رابطه گرافیکی کار رسم دیاگرام را راحت‌تر کرده است. طراحان این سیستم ادعا می‌کنند که این سیستم می‌تواند به خوبی به وسیله کسانی که با شبیه‌سازی آشنایی ندارند، مورد استفاده قرار بگیرد؛ همچنانکه بیشترین خریداران این بسته نرم‌افزاری مهندسان بوده‌اند. یک کتاب این بسته نرم‌افزاری را پشتیبانی می‌کند.[۳۷]

GENETIK : این بسته اخیراً به وسیله شرکتی که نرم‌افزار OPTIK را طراحی کرده بود، ارائه شده است. این بسته مشتمل بر مجموع چند نرم‌افزار است. ادعا می‌شود که به کمک این نرم‌افزار و بدون نیاز به برنامه‌نویسی می‌توان مدل‌های شبیه‌سازی را در کمترین زمان طراحی کرد. این بسته دارای رابط گرافیکی با شفافیت بالاست.

VS6 : سیستم VS6 که هر چند توانایی‌های سیستم‌های پیچیده‌تر را ندارد، اما سیستمی نسبتاً ارزان، انعطاف پذیر و به سادگی قابل استفاده است که امکان درک بهتر و سریعتر مسأله را برای کاربر میسر می‌سازد. داده‌های ورودی به سیستم در قالب دیاگرام سیکل فعالیت است. در صورت نیاز تصویر گرافیکی مسأله را با کمک نمادهای از قبل تعریف شده می‌توان ساخت. اگر به دلیل پیچیدگی مسأله رسم دیاگرام سیکل فعالیت آن میسر نشد، آنگاه VS6 امکان تولید برنامه پاسکال را برای کاربر میسر می‌سازد.

نرم‌افزارهای ویژه سیستم‌های تولیدی بهنگام و انعطاف پذیر

با گرایش روز افزون صنعت به استفاده از سیستم‌های تولیدی انعطاف پذیر و بهنگام، طراحی نرم افزارهایی که بتوانند مسائل مربوط به این سیستم‌ها را شبیه‌سازی کنند، ضرورت پیدا کرده است (برای مثال از این نرم افزارها [۹] را ببینید). از آنجا که گستره کاربرد چنین مسائلی نسبتاً محدود است، این نرم‌افزارها را به گونه‌ای می‌توان طراحی کرد که بتوانند تمام مسائل موجود در چنین محیط‌هایی را دربرگیرند. علاوه بر آن، چون محیط‌های تولیدی فیزیکی هستند، رفتار آنها را راحتتر می‌توان به وسیله تصاویر ساکن و متحرک نشان داد. لذا

گرافیکی بهتر و قابلتر باشند. نیاز برای کدکردن‌های اضافی و یا تغییر در چنین نرم‌افزارهایی در حداقل ممکن است. اما اگر در موارد نادری انجام این تغییرات ضروری باشد، این کار همیشه براحتی امکانپذیر نیست.

برخی از بسته‌های نرم‌افزاری ویژه سیستم‌های تولیدی انعطاف پذیر و بهنگام را ذیلاً معرفی می‌کنیم.

PROPHET : سیستمی است ویژه شبیه سازی آن دسته از سیستم‌های تولیدی دسته‌ای که به وسیله روش MRP[1] برنامه‌ریزی شده‌اند. این سیستم داده‌گراست. از جمله خروجی‌های این سیستم به سطح موجودی انبارها، گلوگاه‌های تولیدی و وضعیت صف‌ها، هزینه‌های تولیدی و میزان بهره‌وری می‌توان اشاره کرد.

EPSIM : سیستم گسسته شبیه‌سازی ویژه سیستم‌های تولیدی است. این سیستم نیز داده‌گراست و به کاربر امکان می‌دهد تا هر مسأله خاص خود را مشخص کند. ویژگی اصلی این سیستم، شبیه‌سازی وضعیت مالی و هزینه‌های تولیدی است.

SIMFACTORY : سیستم چند منظوره شبیه‌سازی برای طراحی کارخانه و تحلیل سیستم تولیدی است که به وسیله طراحان SIMSCRIPT ساخته شده است. مدل‌های شبیه‌سازی از طریق وارد کردن اطلاعات مربوط به طرح کارخانه و عوامل تولیدی طراحی می‌شوند. این سیستم تصاویر متحرک را به کمک نمادهای گرافیکی پیش ساخته و یا تولید شده به وسیله کاربر میسر می‌سازد.

آینده شبیه‌سازی

پیش‌بینی در مورد آینده شبیه‌سازی قدری پیچیده است. مسلم است که پشتیبانی نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی افزایش می‌یابد و بهسازی خواهد شد. راحتی در به‌کارگیری و انعطاف پذیری حرف اول را خواهد زد. جستجو برای سیستم‌های کامپیوتری که سرعت فرموله کردن مسأله را بهسازی کند از شتاب بیشتری برخوردار خواهد شد. وضعیت تکنیکی

از نظر گرافیک کامپیوتری، رابطها و محیطهای گرافیکی در سالهای اخیر پیشرفت قابل ملاحظهای داشته است و بدون تردید این روند ادامه خواهد داشت. تأثیر گرافیک رنگی در شبیهسازی را نمیتوان نادیده گرفت [۲۰،۲۹،۴۱]. استفاده از گرافیک رنگی و تصاویر متحرک نه تنها زمینه را برای درک بیشتر رابطه سیستم واقعی و مدل ساخته شده از آن فراهم میکند، بلکه میتواند به اجرای کارآمدتر برخی از مراحل شبیهسازی مثلاً مراحل ۸ و ۱۰ نیز کمک کند.[۲۹]

هنوز نمیتوان زمانی را در آینده نزدیک پیشبینی کرد که کاربر بتواند از نرمافزار شبیهسازی در مورد مسأله خاص خود استفاده کند و پاسخهای آن را بدون نگرانی در عمل به کار بندد. رفع این نگرانی در گروگنجاندن مفاهیم طرح آزمایش و الگوهای آماری در سیستم شبیهسازی است. تحقیقات در این زمینه ادامه دارد و هدف نهایی آن توسعه مدلهای خودکار شبیهسازی است. مدلهایی که اطلاعات را به صورت محاورهای از کاربر گرفته ، بنابر اطلاعات اخذ شده مناسبترین ساختار را برای مدل انتخاب میکند و سپس از پایگاههای اطلاعاتی موجود، دادههای لازم را استخراج میکند و آزمایشهای لازم را طراحی مینماید و مدل را برای مدت و تعداد دفعات لازم به لحاظ دقت، اجرا، و نتایج را با استفاده از گرافیک رنگی عرضه میکند.

یکی دیگر از زمینههای تحقیقاتی، استفاده از شبیهسازها در آموزش فرایندهاست[۶] . به شبیهسازهایی که مدتها است در آموزش فن خلبانی مورد استفاده قرار میگیرند میتوان اشاره کرد. این گونه شبیهسازها جای خود را در فرایندهای شیمیایی و مراکز کنترل سیستمهای پیچیده تولیدی بازکردهاند. اتاقهای کنترل نیروگاهها، کنترل عملکرد سیستمهای آب و فاضلاب، پالایشگاهها، اتاقهای فرمان وکنترل[1] در برنامهریزیهای تاکتیکی، ... همگی چنان سیستم پیچیدهای دارند که آموزش کامل اپراتورها را طلب میکند. آموزش دیدن اپراتورها روی سیستم واقعی به لحاظ هزینه و خطر عملی نیست. مدلهای شبیهسازی مناسب میتواند زمینه لازم برای آموزش کنندههای این سیستمها را فراهم

کند.[۲۸،۳۹]

روش برنامه‌سازی شی‌گرا در محیط‌های مدلسازی شبیه‌سازی قابل استفاده است. در واقع، برخی از مفاهیم مربوط قبلاً در برخی از روش‌های مدلسازی شبیه‌سازی وجود دارند. سیستم MODSIM سیستم شبیه‌سازی شی‌گراست. با استفاده روزافزون از مفاهیم برنامه سازی شی‌گرا در مدلسازی سیستم‌های شبیه سازی می‌توان گرایش بیشتر در این زمینه را طی ۵ تا ۱۰ سال آینده پیش‌بینی کرد.

زمینه جالب تحقیقی دیگر کامپیوترهای موازی و برنامه‌سازی موازی است. هر چند چنین سیستم‌هایی هنوز موفقیتی در زمینه‌های کاربردی به دست نیاورده است، واضح است که تولید روزافزون چنین ماشین‌ها و به کارگیری آرشیتکت مربوط، ماشین‌های موازی در آینده‌ای نه چندان دور، ماشین‌های سری را جایگزین خواهند کرد. شبیه‌سازی در این راستا چه نقشی می‌تواند داشته باشد هنوز معلوم نیست. مسلم است که کامپیوترهای موازی می‌توانند به فرایند شبیه‌سازی سرعت بخشند.

نقش و استفاده از هوش مصنوعی و شبکه‌های عصبی در شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده و بالعکس، زمینه دیگر تحقیقات است.[۳۱]

منابع و مآخذ

1- Ash, L. and Waters, C. D. J., (1991), "Simulating the Transport of Coal Across Canada - Strategic Route Planning", **J. Opl. Res . Soc.** 42, No. 3.

2- Beasley, J. E. and Whitchurch., (1984), "O. R. Education - A Survey of Young O. R. Workers", **J. Opl. Res. Soc.** 35, PP. 281 - 288.

3- Bedoney , M., (1987), "Strategic Simulation in an Aggregate Bank Model", **Eur. J. Opl. Res.** 30, PP. 24 - 29.

4- Carroll, J. M., (1981), "Using Simulation to Assign Police Patrol Zones", **Simulation,** Jan, No. 1.

Simulation, Jan, No. 1.

6- Carrol, J. M., (1983), "How to Turn an Emergency Simulation into a Video Game for Training", **Computer Simulation in Emergency Planning, SCS Simulation Series,** 11, No. 2.

7- Carroll, J. M., (1987), **Simulation Using Personal Computers,** Prentice - Hall, Inc.

8- Fishman, G. S., (1978), **Principles of Discrete Event Simulation,** John Wiley, New York.

9- Gelenbe, E. et al., (1991), " FLEXSIM : A Flexible Manufacturing System Simulator", **Eur. J. Opl. Res.** 53, PP. 149 - 165.

10- Gordon, G., (1978), **Systems Simulation,** Prentice - Hall, Inc.

11- Gradowczyk, M., (1990), "Water Resources Optimization, Simulation in Argentina", **Eur. J. Opl. Res.** (49), No. 2.

12- Greenberg, S., (1972), **GPSS Primer,** John Wiley, 1972.

13- Grubmann, N., (1987), "BESMOD : A Strategic Balance Sheet Simulation Model", **Eur. J. Opl. Res.** 30, PP. 30 - 34.

14- Harpel, J., L. et al., (1989), "O. R. in Practice : A Longitudinal Study", **Interfaces,** 19, No. 3, PP. 65 - 74.

15- Hobeika, A. G. and Jamie, B., (1985), "MASSVAC: A Model for Calculating Evacuation Times Under Natural Disaste", **Emergency Planning,** J. M. Carroll, ed. Simulation Series 15, PP. 23 - 28.

16- Jones, L. M. and hirst, A. J., (1986), "Visual Simulation in Hospitals: A Managerial or a Political tool?", **Eur. J. Opl. Res.** 29, PP. 167 - 177.

17- Law, W. D., Kelton, H. T., (1991), **Simulation Modelling and Analysis,** McGraw Hill.

Bacon.

19- Martin, F. F., (1971), **Computer Modelling & Simulation,** John Wiley & Sons, New York.

20- Miller, R., (1982), "Simulation & Graphics on Microcomputers", **Simulation,** June. 1982.

21- Mittra, S., (1984), "Discrete System Simulation Concepts", **Simulation,** Sep. 84.

22- Naylor, T. H., et al (1966), **Computer Simulation Techniques,** John Wiley & Sons, New York.

23- Paul, R. J., (1991), "Recent Developments in Simulation Modelling", **J. Opl. Res. Soc.** Vol. 42, No. 3, PP. 217 - 226.

24- Paul, R. J., (1995), **"The three - Phase Discrete event Modelling Approach",** CASM Report, London School of Economics.

25- Payne, J. A., (1982), **Introduction to Simulation Programming Techniques & Methods of Analysis,** McGraw - Hill.

26- Pidd, M., (1984), **"Computer Simulation for O. R. in 1984",** In Developments in O. R. Oxford.

27- Pidd, M., (1988), **Computer Simulation for Management Science,** 2nd Edition, John Wiley & Sons, England.

28- Pierreval, H. and Ralambondrainy., (1990) "A Simulation and Learning for Generating Knowledge about Manufacturing Systems Behaviour", **J. Opl. Res. Soc.** No. 41, PP. 461 - 474.

29- Porter, K., (1991), "Visual Interactive Simulation as a Communication tool - A Case Study", **Eur. J. Opl. Res.** No. 54, PP. 287 - 292.

30- Pritsker, A. A. B., (1986), **Introduction to Simulation and SLAMII,** 3rd Edition,

31- Rozenblit, J. W., et al (1990), "Knowledge - Based Design and Simulation Environment (KBDSE) : Foundational Concepts and Implementation". **J. Opl. Res. Soc.** 41, PP. 475 - 489.

32- Shannon, R., (1983), **"Simulation : An Overview"**, Proceedings of the 1983 Simulation Conference.

33- Shruben, L., (1980), "Establishing the Credibility of Simulation", **Simulation,** March. 1980.

34- Shruben, L., (1983), **Modelling Systems Using Discrete Event Simulation,** Cornell Univ.

35- Spinelli, R. and Crookes, J. G., (1976), "Cellular Simulation", **Opl. Res. Q.** 27, PP. 31 - 40.

36- Stern, E. and Sinuany - Stern Z., (1989), **"A Behavioural - Based Simulation Model for Urban Evacuation"**, Papers of the Regional Science Association 66, PP. 87 - 103, England.

37- Szymankiewicz, J., et al (1988), **Solving Business Problems by Simulation,** 2nd Edition, McGraw - Hill, London.

38- Taha, H., (1982), **Operations Research An Introduction,** McMillan, 1982.

39- Tareghian, H. R., (1987), **Hybrid Simulation Models**, Ph.D. Thesis, C.I.T, England.

40- Thomas, G. and Dacosta, J., (1979), "A Sample Survey of Corporate O.R." **Interfaces,** 9, No. 4, PP. 102 - 111.

41- Vasudev, V. K., et al (1986), "Microcomputer Based Modelling & Simulation", **Eur. J. Opl. Res.** 24, PP. 30 - 36.