

INTRODUÇÃO À SIMULAÇÃO

Considerações Iniciais

Uma simulação é a imitação, durante determinado intervalo de tempo, da operação de um sistema ou de um processo do mundo real. A simulação envolve a geração de uma história artificial do sistema, e a partir desta, é possível compreender o “funcionamento” do sistema real.

O comportamento do sistema é estudado pelo desenvolvimento de um Modelo de Simulação.

Este modelo normalmente toma a forma de um conjunto de premissas relacionadas a operação do sistema. Estas premissas são expressas através de relações matemáticas, lógicas e simbólicas entre as entidades, ou objetos de interesse, do sistema. Uma vez construído e validado, um modelo pode ser usado para investigar uma grande quantidade de questões do tipo “e se...” sobre o sistema real. Alterações no sistema podem ser inicialmente simuladas para se prever as consequências no mundo real.

A Simulação também pode ser usada para estudar sistemas no estágio de projeto, ou seja antes do sistema ser construído. Assim, a Simulação pode usada tanto como uma ferramenta de análise para prever o efeito de mudanças em sistemas já existentes, quanto como uma ferramenta para prever a performance de novos sistemas sobre as mais variadas circunstâncias.

Vantagens e Desvantagens da Simulação

As vantagens principais da simulação são:

- Novas políticas, procedimentos operacionais, regras de negócio, fluxos de informação, etc..., podem ser estudadas sem se alterar o mundo real.
- Novos equipamentos, layouts, sistemas de transporte, etc..., podem ser testados sem se comprometer recursos na sua aquisição.
- Hipóteses sobre como e porque certos fenômenos ocorrem podem ser testados visando verificar sua praticabilidade.
- O tempo pode ser comprimido ou expandido permitindo acelerar ou retardar o fenômeno sob investigação.
- Pode-se entender melhor sob a interação das variáveis do sistema. Pode-se entender melhor a participação das variáveis na performance do sistema.

- Um modelo de simulação pode ajudar a entender como um sistema funciona como um todo, em relação a como se pensa que o sistema opera individualmente.
- Questões do tipo “e se...” podem ser respondidas. Isto é extremamente útil na fase de design de um projeto.

As desvantagens a serem consideradas são:

- A construção de Modelos de Simulação requer treinamento especial. É uma arte que é aprendida com tempo e experiência. Além disto se 2 modelos são construídos por 2 profissionais competentes, eles terão semelhanças, mas será altamente improvável que sejam iguais.
- Os resultados de uma Simulação podem ser difíceis de interpretar. Como a maioria das saídas de uma simulação são variáveis aleatórias (elas estão normalmente baseadas em entradas aleatórias), é difícil determinar se uma observação é o resultado do relacionamento entre as variáveis do sistema ou consequência da própria aleatoriedade.
- A construção e análise de Modelos de Simulação pode consumir muito tempo e, como consequência, muito dinheiro. Economizar por sua vez pode levar a modelos incompletos.
- A Simulação é usada em muitos casos onde uma solução analítica é possível. A simulação não dá resultados exatos.

Áreas de aplicação

Existem inúmeras áreas de aplicação da simulação. A seguir estão listadas algumas das mais importantes:

- Simulação das operações de uma companhia aérea para testar alterações em seus procedimentos operacionais.
- Simulação da passagem do tráfego em um cruzamento muito grande, onde novos sinais estão para ser instalados.
- Simulação de operações de manutenção para determinar o tamanho ótimo de equipes de reparo.
- Simulação de uma siderúrgica para avaliar alterações nos seus procedimentos operacionais.

- Simulação da economia de um setor de um país para prever o efeito de mudanças econômicas.
- Simulação de batalhas militares visando avaliar o desempenho de armas estratégicas.
- Simulação de sistemas de distribuição e controle de estoque, para melhorar o funcionamento destes sistemas.
- Simulação de uma empresa como um todo para avaliar o impacto de grandes mudanças ou como treinamento para seus executivos. (Business Games)
- Simulação de sistemas de comunicações para determinar o que é necessário para fornecer um determinado nível de serviço.
- Simulação de uma barragem em um determinado rio para avaliar os problemas advindos com a sua construção.
- Simulação de uma linha de produção em determinada indústria, para avaliar efeitos de mudanças previstas no processo produtivo.

Componentes de um Sistema

Um Sistema é definido como um grupo de objetos que estão juntos em alguma interação ou interdependência, objetivando a realização de algum objetivo.

Um exemplo poderia ser um sistema de produção de automóveis. As máquinas, componentes, peças e trabalhadores operam em conjunto, em uma linha de montagem, visando a produção de veículos de qualidade.

De forma a entender e analisar um sistema, alguns termos precisam ser definidos:

- Uma Entidade é um objeto de interesse no sistema.
- Um Atributo é uma propriedade de uma entidade.
- Uma Atividade é algo que, para ser realizado, consome uma certa quantidade de tempo.
- O Estado do sistema é definido como sendo como a coleção de variáveis necessárias para descrever o sistema em um dado instante.
- Um Evento é definido como a ocorrência instantânea que pode mudar o estado do sistema.

O termo *endógeno* é usado para descrever atividades e eventos ocorrendo dentro do sistema e *exógeno* é usado para descrever atividades e eventos que ocorrem fora do sistema.

A tabela a seguir mostra alguns exemplos para os termos definidos acima:

sistema	entidade	atributo	atividade	evento	variáveis de estado
banco	clientes	saldo CC	depositar	chegar à agência	nº de clientes esperando
produção	máquinas	taxa quebra	consertar	quebrar	máquinas paradas
comunicação	mensagens	tamanho	transmitir	chegar ao destino	mensagens esperando
universidade	alunos	CR	matricular	cancelar matrícula	nº de alunos matriculados

Etapas de um projeto de simulação

As etapas básicas de um projeto de simulação são:

Formulação do problema.

Cada projeto deve começar com a definição do problema a ser resolvido. É importante que a definição esteja clara para todos que participam do projeto.

Determinação dos objetivos e planejamento global do projeto.

O objetivo indica as questões que devem ser respondidas pela simulação. Neste ponto deve ser considerado se a simulação é a metodologia apropriada para o problema. Nesta fase deve-se fazer também uma estimativa do tamanho da equipe envolvida, custo, tempo, etc...

Construção do Modelo.

A construção de um modelo de um sistema é provavelmente mais arte que ciência. Embora não seja possível fornecer um conjunto de instruções que possibilitem construir à cada vez modelos apropriados. A arte de modelar é melhorada se conseguimos extrair as partes essenciais de um problema, selecionar e modificar as considerações básicas que caracterizam o sistema e então enriquecer e elaborar o modelo até a aproximação de resultados úteis. Assim é melhor começar com um modelo simples e ir aumentando sua complexidade. Entretanto a complexidade do modelo não necessita exceder o necessário para acompanhar os propósitos para qual o modelo foi construído. Não é necessário se ter uma relação de um para um entre o modelo e o sistema real. Somente a essência do sistema real é necessária. É indispensável envolver o usuário na construção do modelo. Isto faz com que a qualidade do modelo resultante fique melhor e aumenta a confiança do usuário na sua futura aplicação. Somente exercícios e a prática ajudam na construção de modelos melhores.

Coleta de dados.

Há uma interação constante entre a construção de um modelo e a coleta dos dados de entrada necessários. Geralmente quanto mais complexo o modelo, mais dados são necessários. Como a coleta de dados toma um tempo muito grande do tempo total de um projeto de simulação, é necessário começar esta coleta o mais cedo possível.

Codificação.

Como a maioria dos sistemas do mundo real resulta em modelos com um grande número de informações e de cálculos, o modelo deve ser programado em uma linguagem de programação adequada.

Testes.

Após a codificação dos programas é necessário testá-los para possíveis erros de programação. Deve-se preparar um conjunto de dados com a finalidade exclusiva de se testar os programas.

Validação.

Nesta fase se verifica se o modelo é uma representação precisa do sistema que se quer modelar. É nesta fase que se faz a chamada calibração do modelo, ou seja, são feitos ajustes até que os resultados garantam que o modelo é uma boa representação do problema.

Produção.

Nesta etapa o modelo é colocado em produção e os dados obtidos são analisados. A produção pode envolver a execução, várias vezes, do modelo, variando-se os dados e os parâmetros de entrada.

Avaliação global dos resultados.

Nesta fase avalia-se se os resultados obtidos estão condizentes com os esperados. Caso sejam encontradas discrepâncias podemos ter que voltar à etapa de construção do modelo.

Documentação e implementação.

É fundamental, como em qualquer projeto, que a simulação seja documentada de forma clara e concisa. Os resultados obtidos também devem ser documentados e arquivados. A implantação, se o usuário participou do processo, tende a ser bem mais simples do que nos casos em que o usuário não teve uma participação ativa.

Exemplo de modelo de simulação

Para entender como funciona uma simulação, vamos ver o exemplo da “Quebra de Rolamentos”.

Uma máquina industrial tem 3 rolamentos diferentes que quebram de tempos em tempos. A probabilidade da vida útil (em horas de operação) de um rolamento está dada na tabela abaixo:

Vida do Rolamento (horas)	Probabilidade
1.000	0.10
1.100	0.13
1.200	0.25
1.300	0.13
1.400	0.09
1.500	0.12
1.600	0.02
1.700	0.06
1.800	0.05
1.900	0.05

Quando um rolamento quebra, a máquina para e um mecânico é chamado para instalar um novo rolamento no lugar do que quebrou. O tempo que o mecânico demora para chegar ao rolamento quebrado também é uma variável aleatória, com a distribuição dada na tabela abaixo:

Tempo de espera (minutos)	Probabilidade
5	0.60
10	0.30
15	0.10

Cada minuto que a máquina fica parada custa \$5 e o custo do mecânico é de \$1 por minuto trabalhado substituindo rolamento. O mecânico demora 20 minutos para trocar 1 rolamento, 30 minutos para trocar 2 e 40 minutos para trocar os 3. Cada rolamento novo custa \$20. Alguém sugeriu que ao quebrar um dos rolamentos, se fizesse logo a troca dos 3. Deseja-se avaliar a situação do ponto de vista econômico.

Solução:

Tem-se que comparar o custo da alternativa atual e da alternativa proposta. É preciso estabelecer um horizonte de tempo para fazer esta comparação. Considerando que a menor vida útil de um rolamento é 1.000 horas (mais de 1 mês), estabelece-se um horizonte de 20.000 horas (um pouco mais de 2 anos) para fazer a comparação.

Como a vida útil dos rolamentos e a espera pelo mecânico são variáveis aleatórias que seguem as distribuições vistas anteriormente, tem-se que relacionar àquelas distribuições com uma tabela de números aleatórios. Assim sendo, considera-se que é possível ter um gerador de números aleatórios capaz de gerar qualquer inteiro entre 0 e 99, ou seja, 100 números. Assim, atribui-se a cada duração de vida útil uma faixa destes números que me garanta que a distribuição probabilística seja mantida.

Como a 1ª vida útil (1.000 horas) tem 10% de probabilidade de ocorrer, atribui-se a esta duração a faixa de 0 a 9 inclusive, ou seja, 10 números (10% dos 100 números). Para a 2ª duração provável (1.100 horas), com 13% de probabilidade de ocorrência, atribui-se a faixa de 10 a 22 inclusive, ou seja, 13 números. E assim, continua-se para as demais durações prováveis dos rolamentos como pode ser visto na tabela a seguir, ressaltando que a probabilidade acumulada dá o limite das faixas escolhidas.

vida do rolamento (horas)	probabilidade	probabilidade acumulada	nº aleatório atribuído
1.000	0.10	0.10	0 – 9
1.100	0.13	0.23	10 – 22
1.200	0.25	0.48	23 – 47
1.300	0.13	0.61	48 – 60
1.400	0.09	0.70	61 – 69
1.500	0.12	0.82	70 – 81
1.600	0.02	0.84	82 – 83
1.700	0.06	0.90	84 – 89
1.800	0.05	0.95	90 – 94
1.900	0.05	1.00	95 – 99

Tabela semelhante pode ser construída para a espera pela chegada do mecânico.

tempo de espera (minutos)	probabilidade	probabilidade acumulada	nº aleatório atribuído
5	0.60	0.60	0 – 59
10	0.30	0.90	60 – 89

15	0.10	1.00	90 – 99
----	------	------	---------

Com os dados das tabelas acima, é possível executar a simulação, que apresentou os seguintes resultados para o rolamento 1:

sequência	rolamento 1			mecânico	
	nº aleatório	vida (horas)	vida acumulada (horas)	nº aleatório	espera (minutos)
1	62	1.400	1.400	61	10
2	85	1.700	3.100	10	5
3	89	1.700	4.800	46	5
4	24	1.200	6.000	28	5
5	99	1.900	7.900	55	5
6	27	1.200	9.100	64	10
7	89	1.700	10.800	63	10
8	12	1.100	11.900	75	10
9	2	1.00	12.900	54	5
10	34	1.200	14.100	67	10
11	7	1.000	15.100	90	15
12	75	1.500	16.600	14	5
13	22	1.100	17.700	80	10
14	97	1.900	19.600	84	10
15	37	1.200	20.800	9	5
espera total					120

É possível observar na planilha que para cada sequência, ou seja, rolamento novo, é gerado um número aleatório que indica qual a vida útil daquele rolamento. Tendo quebrado, após esta vida útil, o mecânico é chamado e um 2º número aleatório é gerado para definir o tempo de espera até a troca deste rolamento. Quando a vida acumulada ultrapassa 20.000 horas, ou seja, a duração da simulação, a execução do processo é interrompida.

Processos semelhantes foram executados para os outros 2 rolamentos.

sequência	rolamento 2			mecânico	
	nº aleatório	vida (horas)	vida acumulada (horas)	nº aleatório	espera (minutos)

1	89	1.700	1.700	58	5
2	47	1.200	2.900	88	10
3	60	1.300	4.200	20	5
4	3	1.000	5.200	98	15
5	40	1.200	6.400	26	5
6	64	1.400	7.800	97	15
7	9	1.000	8.800	41	5
8	30	1.200	10.000	79	10
9	32	1.200	11.200	0	5
10	8	1.000	12.200	3	5
11	94	1.800	14.000	58	5
12	66	1.400	15.400	84	10
13	53	1.300	16.700	61	10
14	17	1.100	17.800	43	5
15	72	1.500	19.300	15	5
16	0	1.000	20.300	97	15
espera total					130

sequência	rolamento 3			mecânico	
	nº aleatório	vida (horas)	vida acumulada (horas)	nº aleatório	espera (minutos)
1	49	1.300	1.300	44	5
2	26	1.200	2.500	45	5
3	2	1.000	3.500	72	10
4	83	1.600	5.100	87	10
5	21	1.100	6.200	19	5
6	20	1.100	7.300	81	10
7	60	1.300	8.600	56	5
8	34	1.200	9.800	74	10
9	63	1.400	9.800	93	15
10	69	1.400	11.200	36	5
11	44	1.200	13.800	71	10
12	76	1.500	15.300	97	15
13	55	1.300	16.600	59	5
14	85	1.700	18.300	81	10
15	21	1.100	19.400	21	5
16	5	1.000	20.400	1	5
espera total					130

Com os dados obtidos na simulação, é possível calcular o custo da situação atual:

- Custo dos rolamentos = $(15 + 16 + 16) \times \$20 = \940
- Custo da máquina parada esperando pelo mecânico = $(120 + 130 + 130) \times \$5 = \$1.900$

- Custo da máquina parada trocando rolamento = $(15 + 16 + 16) \times 20 \times \$5 = \$4.700$
- Custo do mecânico = $(15 + 16 + 16) \times 20 \times \$1 = \$940$
- Custo Total = $940 + 1.900 + 4.700 + 940 = \8.480

A simulação da situação proposta apresentou os seguintes resultados:

sequência	rolamento 1		rolamento 2		rolamento 3		1ª quebra	vida acumulada	espera	
	n.a.	vida (hs)	n.a.	vida (hs)	n.a.	vida (hs)			n.a.	(min)
1	96	1.900	2	1.000	34	1.200	1.000	1.000	21	5
2	70	1.500	7	1.000	47	1.200	1.000	2.000	36	5
3	96	1.900	46	1.200	49	1.300	1.200	3.200	21	5
4	48	1.300	17	1.100	42	1.200	1.100	4.300	7	5
5	32	1.200	93	1.800	20	1.100	1.100	5.400	58	5
6	36	1.200	94	1.800	98	1.900	1.200	6.600	83	10
7	41	1.200	17	1.100	53	1.300	1.100	7.700	14	5
8	71	1.500	2	1.000	20	1.100	1.000	8.700	75	10
9	4	1.000	22	1.100	86	1.700	1.000	9.700	5	5
10	69	1.400	21	1.100	0	1.000	1.000	10.700	65	10
11	13	1.100	89	1.700	58	1.300	1.100	11.800	15	5
12	36	1.200	12	1.100	66	1.400	1.100	12.900	12	5
13	75	1.500	57	1.300	29	1.200	1.200	14.100	32	5
14	76	1.500	78	1.500	95	1.900	1.500	15.600	2	5
15	71	1.500	5	1.000	86	1.700	1.000	16.600	31	5
16	98	1.900	43	1.200	22	1.100	1.100	17.700	51	5
17	98	1.900	47	1.200	60	1.300	1.200	18.900	20	5
18	68	1.400	61	1.400	57	1.300	1.300	20.200	35	5
										105

Feita a simulação da situação proposta, é possível calcular os custos:

- Custo dos rolamentos = $(18 \times 3) \times \$ 20 = \1.080
- Custo da máquina parada esperando pelo mecânico = $105 \times \$5 = \525
- Custo da máquina parada trocando rolamento = $18 \times 40 \times \$5 = \3.600
- Custo do mecânico = $18 \times 40 \times \$1 = \720
- Custo Total = $1.080 + 525 + 3.600 + 720 = \5.925

Assim a simulação mostrou que a situação proposta é bem melhor em termos financeiros.