

ÍNDICE

1. Modelado de sistemas

1.1. Introducción	1
1.2 Concepto de sistema y de modelo	1
1.3. Tipos de modelos	3
1.3.1. Elección del modelo	3
1.4. Modelado analítico	5
1.4.1 <i>Sistemas continuos</i>	5
1.4.2 <i>Sistemas discretos</i>	7
1.4.3 <i>Sistemas muestreados</i>	9
1.4.4. <i>Sistemas por lotes</i>	10
1.5. Modelado simbólico	11
1.5.1. <i>Modelos basados en reglas</i>	12
1.5.2. <i>Modelos cualitativos</i>	12
1.5.3. <i>Modelos funcionales y causales</i>	12

2. Objetivos y técnicas de simulación

2.1. Introducción	13
2.2. Aplicaciones de la simulación	14
2.3. Proceso de modelado y simulación	14
2.4. Tipos de simulación	15
2.5. Simulación de sistemas continuos	17
2.6. Simulación de sistemas por lotes	19
2.7. Simulación combinada	24
2.8. Simulación cualitativa	24
2.9. Lenguajes empleados en simulación	24
2.10. Uso y limitaciones de la simulación	25

3. Simulación de sistemas continuos. Simulación analógica

3.1. Introducción	27
3.2. Identificación y modelado de sistemas continuos	27
3.2.1. Modelos	28
3.2.2. <i>Parametrización</i>	28
3.2.3. <i>Elección del modelo</i>	28
3.2.4. <i>Aplicaciones de la identificación de sistemas</i>	29
3.3. Cálculo analógico	30
3.3.1. <i>Computadores analógicos</i>	30
3.3.2. <i>Programación</i>	35
3.3.3. <i>Características</i>	43

4. Simulación digital de sistemas continuos

4.1. Introducción	45
4.2. Métodos numéricos de resolución	46
4.2.1. <i>Método de Taylor</i>	47
4.2.2. <i>Método de Euler</i>	47
4.2.3. <i>Interpolación polinomial</i>	48
4.2.4. <i>Fórmulas multipaso</i>	49
4.2.5. <i>Predictor-corrector</i>	49
4.2.6. <i>Adams-Moulton</i>	50
4.2.7. <i>Métodos de Runge-Kutta</i>	51
4.2.8. <i>Sistemas de ecuaciones diferenciales</i>	54
4.2.9. <i>Arranque de la simulación</i>	55
4.2.10. <i>Elección del paso de integración</i>	55
4.2.11. <i>Comparación entre métodos de análisis numérico</i>	56
4.3. Estabilidad numérica	56
4.3.1. <i>Inestabilidad debida a la ecuación</i>	57
4.3.2. <i>Inestabilidad debida al paso de integración</i>	57
4.3.3. <i>Inestabilidad debida al método</i>	58
4.4. Algoritmo de simulación de sistemas continuos	59
4.5. Sistemas discretos	60
4.5.1. <i>Algoritmo de simulación de sistemas discretos</i>	61
4.6. Sistemas muestreados	62
4.6.1. <i>Algoritmo de simulación de sistemas muestreados</i>	63

5. Lenguajes de simulación de sistemas continuos y ejemplos

5.1. Introducción	65
5.1.1. <i>Simulación actual. Evolución</i>	65

5.1.2. Dificultades y carencias actuales	67
5.1.3. Requerimientos	67
5.1.4. Características de un simulador	68
5.2. Lenguajes de modelado de sistemas continuos	68
5.2.1. Clasificación	68
5.2.2. Origen	69
5.2.3. ACSL	70
5.2.4. SIMNON	74
5.2.5. EASY5	74
5.2.6. DYMOLA	77
5.2.7. SPEEDUP	78
5.2.8. SIMULINK	82
5.2.9. MODELICA	84
5.2.10. ECOSIM	84
5.2.11. Lenguajes en el entorno académico	86
5.2.12. Lenguajes de simulación estacionaria	87
5.3. Arquitectura de un simulador	88
5.4. Tendencias	89

6. Simulación simbólica

6.1. Introducción	91
6.2. Simulación basada en reglas	93
6.3. Objetivos de la simulación cualitativa	94
6.3.1. Objetivo generales	94
6.3.2. Objetivos de control	95
6.4 Características generales	96
6.5. Representaciones cualitativas	98
6.5.1. Terminología	98
6.5.2. Valores cualitativos	99
6.5.2.1. Variables y valores cualitativos	99
6.5.2.2. Niveles de abstracción múltiples	100
6.5.2.3. Valores incrementales cualitativos	102
6.5.3. Espacio de cantidades	103
6.5.3.1. Definiciones	103
6.5.3.2. Tipos de valores	104
6.5.3.3. Espacio de hitos	105
6.5.3.4. Especificación de espacio de cantidades	105
6.5.3.5. Relaciones de orden	106
6.5.4. Representación del tiempo	107
6.5.4.1. Eventos	108
6.5.4.2. Episodios	108

6.5.4.3. Historias	109
6.5.5. Restricciones	109
6.5.5.1. Tipos de restricciones	109
6.5.6. Regiones de funcionamiento	109
6.5.7. Modelos	110
6.6. Algoritmo de simulación	110
6.6.1. Introducción	110
6.6.2. Valores cualitativos	111
6.6.3. Proceso de simulación	111
6.6.3.1. Datos de partida	111
6.6.3.2. Resultados de la simulación	112
6.6.3.3. Algoritmo de simulación QSIM	112
6.6.4. Ejemplo de simulación	112

7. Simulación de sistemas por lotes

7.1. Introducción	117
7.2. Conceptos básicos	118
7.3. Componentes de un simulador por lotes	119
7.4. Proceso de simulación por lotes	126
7.5. Simulación combinada	128
7.5.1. Tareas básicas en la simulación combinada	128

8. Generación de entradas de simulación

8.1. Introducción	131
8.2. Ajuste de distribuciones a los datos de entrada	131
8.2.1. Selección de distribuciones probabilísticas de entrada	131
8.2.2. Distribuciones empíricas	132
8.2.3. Elección de una familia de distribuciones teóricas	133
8.2.4. Estimación de parámetros	134
8.2.5. Contrastes de ajuste	135
8.3. Generación de números y variables aleatorias	138
8.3.1. Generación de distribución uniforme $[0,1)$	139
8.3.2. Comprobación de la bondad de un generador	141
8.3.3. Generación de variables aleatorias	142

9. Lenguajes de simulación de sistemas por lotes

9.1. Introducción	145
9.2. Herramientas Software disponibles para la simulación de sistemas por lotes	146

9.3. Características deseables en un software de simulación	147
9.4. Lenguajes de simulación por lotes	151
9.5. Paquetes de Simulación de Sistemas por lotes	153

10. Validación

10.1. Introducción	155
10.2. Conceptos básicos de validación	156
10.3. Significado del modelo válido	159
10.4. Metodología y técnicas para realizar la validación	161
10.4.1. Validación formal del modelo	161
10.4.2. El empleo de pruebas estadísticas	163
10.4.2.1. Inspección parcial	164
10.4.2.2. Pruebas de hipótesis	164
10.4.2.3. Pruebas de significación de medias	166
10.4.2.4. Análisis de varianza	167
10.4.2.5. Intervalo de confianza	168
10.4.2.6. La prueba de Mann-Whitney	171
10.4.2.7. Comparación entre distribuciones de salida tipo serie temporal	174
10.5. Conclusiones	175

11. Ejecución y análisis de la salida

11.1. Introducción	177
11.2. Ejecución de la simulación	177
11.3. Técnicas de reducción de la varianza	178
11.3.1. Números aleatorios comunes	178
11.3.2. Variables antitéticas	179
11.3.3. Variables de control	180
11.3.4. Otras técnicas	183
11.4. Diseño de experimentos	183
11.4.1. Metodología de la respuesta de la superficie	185
11.5. Optimización	186
11.5.1. Métodos de búsqueda	186
11.5.1.1. Método de variable simple, caso determinista	187
11.5.1.2. Método de variable simple, caso no determinista	192
11.5.1.3. Búsqueda multidimensional	195
11.6. Determinación del tamaño de la muestra y las reglas de parada ...	197

12. Análisis de sensibilidad e incertidumbre

12.1. Introducción	199
12.2. Metodología para el análisis de sensibilidad e incertidumbre	200
12.2.1. Tipos de incertidumbre y tipos de análisis de sensibilidad	200
12.2.2. Metodología general	201
12.2.3. Técnicas de muestreo	205
12.2.3.1. Muestreo aleatorio simple	205
12.2.3.2. Diseños factoriales	206
12.2.3.3. Muestreo hipercubo latino	207
12.3. Análisis de incertidumbres	208
12.3.1. Histogramas	209
12.3.2. Función de distribución empírica	209
12.3.3. Estimación de medias	209
12.3.4. Estimación de varianzas	211
12.4. Análisis de sensibilidad	211
12.4.1. Diagramas de dispersión	212
12.4.2. Análisis de regresión	213

13. Aplicaciones de la simulación en ingeniería eléctrica

13.1. Introducción	215
13.2. Modelos para planificación	216
13.2.1. Modelos generales de planificación energética	217
13.2.2. Modelos de planificación eléctrica	218
13.2.3. Previsión de la demanda eléctrica	218
13.2.3.1. Modelos de previsión basados en series temporales	219
13.2.4. Expansión del equipo generador y de la red	219
13.2.5. Gestión de las energías primarias y de los combustibles	219
13.3. Estudios clásicos de redes	220
13.3.1. Valores por unidad	220
13.3.2. Reparto de cargas	221
13.3.3. Cortocircuitos	222
13.3.4. Estabilidad transitoria	224
13.3.5. Transitorios electromagnéticos	225

14. Aplicaciones de la simulación en ingeniería eléctrica

14.1. Introducción	227
14.2. Simuladores digitales	227
14.2.1. Modelos de simuladores digitales	229
14.2.1.1. Modelos de puertas	229

14.2.1.2. Modelos descriptivos (VHDL)	229
14.2.1.3. Modelos físicos	231
14.2.1.4. Comparación entre modelos	231
14.2.2. Algoritmos de simulación	232
14.2.3. Utilización por los simuladores del tiempo	232
14.3. Simuladores analógicos y mixtos	232
14.3.1. SPICE y sus derivados	233
14.3.1.1. Modelos y componentes	235
14.3.2. Tipos de análisis	236
14.3.3. Simuladores mixtos	237
14.3.4. Prestaciones de un simulador de calidad	238
14.4. Simuladores de potencia	238
14.5. Proceso de simulación en un entorno CAEE	239
14.5.1. Captura de esquemas y elección de componentes	239
14.5.2. Compilación expansión	239
14.5.3. Simulación	240
14.5.4. Diseño del circuito impreso	240
14.5.5. Simulación térmica y de interferencias	240
14.5.6. Fabricación	240
14.5.7. Control de calidad	241
14.5.8. Testabilidad	241

15. Aplicaciones de la simulación en los sistemas de fabricación flexible

15.1. Introducción	243
15.2. Ejemplo. Un taller de mecanizado	244
15.3. Elementos de la simulación por lotes aplicada a los FMS	246
15.3.1. Piezas	246
15.3.2. Estaciones	246
15.3.3. Recursos	247
15.3.4. Almacenes	247
15.3.5. Transportes	248
15.3.6. Interrupciones	249
15.3.7. Planificador	249
15.4. Herramientas para la simulación de un FMS	250
15.5. Simulación de un almacén automático de despacho de pedidos ...	251
15.5.1. Simulador del subsistema de carga-descarga de estanterías	254
15.5.1.1. Reparto de productos en las estanterías	254
15.5.1.2. Reparto de un pedido de cajas	255
15.5.1.3. Determinación del orden de servicio de las cajas	256
15.5.1.4. Resultados de la simulación	257

16. Aplicaciones de la simulación al diseño y análisis de sistemas de comunicaciones

16.1. Introducción	261
16.2. Modelización de redes de computadores	262
16.3. ¿Qué es una simulación de un red informática?	263
16.4. Ventajas y desventajas en el uso de la simulación	266
16.5. Factores que intervienen en el uso de la simulación	267
16.6. Software de simulación para redes de comunicaciones	267
16.6.1. <i>Características deseables</i>	269
16.7. Elementos en un estudio de simulación de una red de comunicaciones	270
16.8. Resumen del programa de simulación COMNET III	271
16.8.1. <i>Breve descripción</i>	271
16.8.2. <i>Características</i>	271
16.8.3. <i>Aplicabilidad</i>	272
16.8.4. <i>Construcción de modelos en COMNET III</i>	273
16.8.5. <i>COMNET III y el modelo OSI</i>	277
16.8.6. <i>Usos de COMNET III</i>	277
16.9. Aplicación: Simulación de la red de la UNED	278
16.9.1. <i>Objetivos de la simulación</i>	278
16.9.2. <i>Planificación del estudio</i>	278
16.9.3. <i>Pasos realizados</i>	279
16.9.3.1. <i>Recogida de datos para definir la topología del sistema</i>	279
16.9.3.2. <i>Recogida de datos para definir las cargas de trabajo</i>	280
16.9.3.3. <i>Realización del modelo</i>	280
16.9.3.4. <i>Determinación de los parámetros de la simulación</i>	281
16.9.3.5. <i>Simulación</i>	282
16.9.3.6. <i>Evaluación de resultados y alternativas</i>	282
16.9.4. <i>Conclusión</i>	285

ANEXO. Conceptos básicos de estadística y probabilidad

A.1. Introducción	289
A.2. Distribuciones estadística	296
A.2.1. <i>Distribuciones continuas</i>	297
A.2.2. <i>Distribuciones discretas</i>	302

Bibliografía	305
---------------------------	-----