

Contents

Clase 5: Métricas de Desempeño en Simulación de Eventos Discretos (SED) y Diseño de Experimentos	1
--	---

Clase 5: Métricas de Desempeño en Simulación de Eventos Discretos (SED) y Diseño de Experimentos

1. Objetivos de la Clase:

- Comprender la importancia de las métricas de desempeño en la evaluación de sistemas simulados con SED.
- Identificar y seleccionar métricas de desempeño relevantes para diferentes tipos de sistemas.
- Aprender a recolectar y analizar datos de simulación para calcular métricas de desempeño.
- Introducir el concepto de diseño de experimentos (DOE) en el contexto de la simulación.
- Aplicar conceptos de diseño de experimentos para optimizar parámetros del sistema simulado.

2. Contenido Teórico Detallado:

- **Importancia de las Métricas de Desempeño:** Las métricas de desempeño son medidas cuantitativas que permiten evaluar el rendimiento de un sistema simulado. Permiten comparar diferentes configuraciones del sistema, identificar cuellos de botella y optimizar el diseño. Sin métricas, la simulación se convierte en un ejercicio sin propósito claro.
- **Tipos de Métricas de Desempeño:**
 - **Utilización de Recursos:** Porcentaje de tiempo que un recurso está ocupado (ej. servidor, máquina, operador). Indica la eficiencia del uso de los recursos. Una utilización muy alta puede indicar cuellos de botella y una utilización muy baja puede indicar recursos ociosos.
 - **Tiempo de Espera:** Tiempo promedio que una entidad pasa en una cola esperando ser procesada. Una métrica clave para evaluar la satisfacción del cliente o la eficiencia de un proceso.
 - **Tiempo de Ciclo (Throughput):** Número de entidades que completan el sistema por unidad de tiempo. Mide la capacidad del sistema para procesar entidades.
 - **Longitud de la Cola:** Número promedio de entidades en una cola. Indica la congestión del sistema.
 - **Pérdida de Entidades:** Número de entidades que no pueden ser procesadas debido a la capacidad limitada del sistema (ej. clientes que abandonan la cola).
 - **Costo:** Costos operativos, costos de recursos, costos de espera, etc.
 - **Fiabilidad:** Probabilidad de que un sistema funcione correctamente durante un período de tiempo específico.
- **Recolección de Datos de Simulación:**
 - **Observación directa:** Registrar directamente los eventos y los estados del sistema durante la simulación.
 - **Contadores:** Utilizar contadores para registrar la ocurrencia de eventos específicos.
 - **Toma de muestras:** Tomar muestras periódicas del estado del sistema.
 - **Software de simulación:** La mayoría de los software de simulación tienen funciones integradas para recolectar datos de rendimiento.
- **Análisis Estadístico de los Datos de Simulación:**
 - **Cálculo de promedios, varianzas y desviaciones estándar:** Permiten resumir y analizar los datos recolectados.
 - **Intervalos de Confianza:** Proporcionan un rango de valores dentro del cual se espera que se encuentre el valor real de la métrica con un cierto nivel de confianza.
 - **Análisis de Varianza (ANOVA):** Permite determinar si existen diferencias significativas entre las medias de diferentes grupos.

- **Introducción al Diseño de Experimentos (DOE):** El DOE es una metodología para planificar y realizar experimentos de manera eficiente para identificar los factores que tienen un impacto significativo en una respuesta. En simulación, se utiliza para identificar los parámetros del sistema que tienen el mayor impacto en las métricas de desempeño.
- **Tipos de Diseños Experimentales:**
 - **Diseño Factorial Completo:** Evalúa todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores. Adecuado para pocos factores.
 - **Diseño Factorial Fraccional:** Evalúa un subconjunto de las combinaciones posibles, reduciendo el número de simulaciones requeridas. Adecuado para muchos factores.
 - **Diseño de Superficie de Respuesta:** Utilizado para optimizar los parámetros del sistema. Busca la combinación de parámetros que maximiza o minimiza una métrica de desempeño.

3. Ejemplos y Casos de Estudio:

- **Caso de Estudio: Optimización de un Centro de Llamadas:**
 - **Objetivo:** Minimizar el tiempo promedio de espera de los clientes y maximizar la utilización de los agentes.
 - **Métricas:** Tiempo de espera promedio, utilización de los agentes, tasa de abandono de llamadas.
 - **Parámetros a optimizar:** Número de agentes, tiempo promedio de atención por llamada, políticas de enrutamiento de llamadas.
 - **DOE:** Utilizar un diseño factorial fraccional para identificar los parámetros que tienen el mayor impacto en el tiempo de espera promedio.
 - **Resultados:** Determinar el número óptimo de agentes para satisfacer la demanda de los clientes con un tiempo de espera aceptable.
- **Caso de Estudio: Mejora de la Eficiencia de una Línea de Producción:**
 - **Objetivo:** Maximizar el throughput de la línea de producción y minimizar el tiempo de ciclo.
 - **Métricas:** Throughput, tiempo de ciclo, WIP (Work In Progress), utilización de las máquinas.
 - **Parámetros a optimizar:** Velocidad de las máquinas, tamaño de los buffers entre las estaciones de trabajo, políticas de programación de la producción.
 - **DOE:** Utilizar un diseño de superficie de respuesta para optimizar la velocidad de las máquinas y el tamaño de los buffers.
 - **Resultados:** Identificar la configuración óptima de la línea de producción para maximizar el throughput y minimizar el tiempo de ciclo.

4. Problemas Prácticos y Ejercicios con Soluciones:

- **Ejercicio 1:** En un sistema de colas M/M/1, la tasa de llegada es de 10 clientes por hora y la tasa de servicio es de 12 clientes por hora. Simule el sistema durante 100 horas y calcule el tiempo de espera promedio, la longitud promedio de la cola y la utilización del servidor.
 - **Solución (esquema):**
 1. Implementar la lógica de la cola M/M/1 en un software de simulación o en un lenguaje de programación como Python.
 2. Generar eventos de llegada y salida utilizando distribuciones exponenciales con las tasas dadas.
 3. Recolectar datos sobre el tiempo de espera, la longitud de la cola y el tiempo que el servidor está ocupado.
 4. Calcular las métricas de desempeño a partir de los datos recolectados.
 5. Verificar la validez de la simulación comparando los resultados con las fórmulas analíticas de la teoría de colas M/M/1.
- **Ejercicio 2:** Diseñe un experimento factorial completo para evaluar el impacto de dos factores (A y B) en una métrica de desempeño (Y). El factor A tiene dos niveles (bajo y alto) y el factor B también tiene dos niveles (bajo y alto).

- **Solución:**
 1. Definir los niveles de los factores: A(bajo), A(alto), B(bajo), B(alto).
 2. Crear una tabla con todas las combinaciones posibles: (A(bajo), B(bajo)), (A(bajo), B(alto)), (A(alto), B(bajo)), (A(alto), B(alto)).
 3. Ejecutar la simulación para cada combinación.
 4. Recolectar los valores de la métrica de desempeño (Y) para cada combinación.
 5. Analizar los resultados para determinar el efecto principal de cada factor y la interacción entre los factores.
- **Ejercicio 3:** Una empresa manufacturera está simulando su proceso de producción. Después de ejecutar la simulación durante un tiempo suficiente, obtienen los siguientes datos:
 - Número total de piezas producidas: 1000
 - Tiempo total de simulación: 8 horas
 - Tiempo total en que la máquina principal estuvo inactiva debido a fallas: 2 horas

Calcule el throughput, la disponibilidad de la máquina y la eficiencia del proceso.

- **Solución:**
 - * $\text{Throughput} = \text{Número total de piezas producidas} / \text{Tiempo total de simulación} = 1000 \text{ piezas} / 8 \text{ horas} = 125 \text{ piezas/hora}$
 - * $\text{Disponibilidad} = (\text{Tiempo total de simulación} - \text{Tiempo de inactividad}) / \text{Tiempo total de simulación} = (8 \text{ horas} - 2 \text{ horas}) / 8 \text{ horas} = 0.75 \text{ o } 75\%$
 - * La eficiencia del proceso depende de otros factores (como el tiempo de ciclo ideal), y no puede calcularse solo con estos datos.

5. Materiales Complementarios Recomendados:

- **Libros:**
 - "Simulation with Arena" by W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock.
 - "Discrete-Event System Simulation" by Jerry Banks, John S. Carson II, Barry L. Nelson, David M. Nicol.
- **Artículos:**
 - Artículos de investigación sobre aplicaciones de simulación en diferentes industrias.
 - Tutoriales sobre el uso de software de simulación específico (ej. Arena, AnyLogic, Simio).
- **Recursos Online:**
 - Sitios web de fabricantes de software de simulación.
 - Cursos online sobre simulación de eventos discretos y diseño de experimentos.