



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
SISTEMAS INFORMÁTICOS

Máster en Software de Sistemas Distribuidos y
Empotrados

Sistemas de Tiempo Real Distribuidos

Planificación – Ejercicio 1: Cálculo de tiempos de respuesta en un STR

Alejandro Casanova Martín

N.º de matrícula: bu0383

Madrid, 19 de marzo 2024

Índice

1.	Asignación de tiempos de cómputo	3
2.	Cálculo de la ocupación de CPU	3
3.	Cálculo de los tiempos de bloqueo	3
4.	Análisis del tiempo de respuesta	4
5.	Verificación mediante el software RTA	5
6.	Interpretación de los resultados	6

1. Asignación de tiempos de cómputo

Para cada tarea, se asignaron los tiempos de cómputo (C_i) y de acceso a recursos compartidos (*Órdenes*, *Altitud*, y *Emergencia Vibraciones*). A continuación se muestra la tabla completa con los datos del ejercicio.

Tareas	P_i	T_i	D_i	C_i	Órdenes	Altitud	Emergencia Vibraciones	B_i	U_i
Tarea i (Interrupción)	HW	600	100	2	-	-	-	-	0.0033
Tarea 1 (Detectar Vibr.)	5	350	100	35	-	-	6	6	0.1
Tarea 2 (Ctrl. Motores)	4	150	150	45	10	-	6	8	0.3
Tarea 3 (Horizontalidad)	3	200	200	40	8	-	-	5	0.2
Tarea 4 (Check Altitud)	2	300	300	20	5	6	-	6	0.0667
Tarea 5 (Capt. Altitud)	1	600	600	30	5	6	-	-	0.05

Tabla 1. Datos del ejercicio y resultados del cálculo de los tiempos de bloqueo y ocupación de la CPU.

2. Cálculo de la ocupación de CPU

Se calcula el uso que hace cada proceso de la CPU mediante la fórmula:

$$U_i = C_i/T_i$$

Los resultados de este cálculo se muestran en la columna U_i de la Tabla 1. Para calcular la ocupación total, se deberán sumar los valores de ocupación de cada tarea. Adicionalmente, se podrá verificar que el sistema es planificable si se cumple la siguiente ecuación (condición suficiente, aunque no necesaria):

$$U \equiv \sum_{i=1}^N \frac{C_i}{T_i} \leq N(2^{1/N} - 1)$$

Realizando el sumatorio, y sustituyendo por $N = 6$, obtenemos:

$$U = 0,7200 < 0,7348$$

Por lo tanto, podemos concluir que el sistema es planificable, teniendo un porcentaje de utilización de la CPU del 72%.

3. Cálculo de los tiempos de bloqueo

Suponiendo que se sigue el protocolo ICPP (*Immediate Ceiling Priority Protocol*), se calcularon los tiempos de bloqueo de cada tarea. Este cálculo se realizó aplicando la fórmula siguiente:

$$B_i = \max_{1 \leq k \leq N} usage(k, i) \cdot C_k$$

Donde $usage(k,i) = 1$ cuando el recurso k es usado por, al menos, una tarea de prioridad menor que P_i y, al menos, otra tarea con prioridad mayor o igual a P_i . En caso contrario, $usage(k,i) = 0$.

Se muestran los resultados del cálculo en la columna B_i de la Tabla 1.

4. Análisis del tiempo de respuesta

El peor tiempo de respuesta de cada tarea se calcula aplicando iterativamente la siguiente fórmula:

$$R_i = C_i + B_i + \sum_{j \in hp(i)} \left\lceil \frac{R_i}{T_j} \right\rceil \cdot C_j + \left\lceil \frac{R_i}{T_{int}} \right\rceil \cdot C_{int}$$

A continuación, se procede con la resolución:

$$R_1^0 = C_1 + B_1 + C_{int} = 35 + 6 + 2 = 43 < 100$$

$$R_1^1 = C_1 + B_1 + \left\lceil \frac{43}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = 35 + 6 + 1 \cdot 2 = \mathbf{43} < 100 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido}$$

$$R_2^0 = C_2 + B_2 + C_1 + C_{int} = 45 + 8 + 35 + 2 = 90$$

$$R_2^1 = C_2 + B_2 + \left\lceil \frac{90}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{90}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = 45 + 8 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{90} < 150 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido}$$

$$R_3^0 = C_3 + B_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 40 + 5 + 45 + 35 + 2 = 127$$

$$\begin{aligned} R_3^1 &= C_3 + B_3 + \left\lceil \frac{127}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{127}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{127}{T_{int}} \right\rceil C_{int} \\ &= 40 + 5 + 1 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{127} < 200 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido} \end{aligned}$$

$$R_4^0 = C_4 + B_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 20 + 6 + 40 + 45 + 35 + 2 = 148$$

$$\begin{aligned} R_4^1 &= C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{148}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{148}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{148}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{148}{T_{int}} \right\rceil C_{int} \\ &= 26 + 1 \cdot 40 + 1 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = \mathbf{148} < 300 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido} \end{aligned}$$

$$R_5^0 = C_5 + C_4 + B_4 + C_3 + C_2 + C_1 + C_{int} = 30 + 20 + 40 + 45 + 35 + 2 = 172$$

$$\begin{aligned} R_5^1 &= C_5 + \left\lceil \frac{172}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{172}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{172}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{172}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{172}{T_{int}} \right\rceil C_{int} \\ &= 30 + 1 \cdot 20 + 1 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 217 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_5^2 &= C_5 + \left\lceil \frac{217}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{217}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{217}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{217}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{217}{T_{int}} \right\rceil C_{int} \\ &= 30 + 1 \cdot 20 + 2 \cdot 40 + 2 \cdot 45 + 1 \cdot 35 + 1 \cdot 2 = 257 \end{aligned}$$

$$R_5^3 = C_5 + \left\lceil \frac{257}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{257}{T_3} \right\rceil C_3 + \left\lceil \frac{257}{T_2} \right\rceil C_2 + \left\lceil \frac{257}{T_1} \right\rceil C_1 + \left\lceil \frac{257}{T_{int}} \right\rceil C_{int} = \mathbf{257} < 600 \quad \checkmark \text{ Plazo Cumplido}$$

Todos los plazos se cumplen, por lo que se corrobora que el sistema es planificable.

5. Verificación mediante el software RTA

El fichero de configuración de los parámetros de la simulación es el siguiente:

```
-- Ejercicio 1
task set Sample with 6 tasks and 3 locks is
  -- locks
  lock Lock_ordenes;
  lock Lock_altitud;
  lock Lock_emergencia;
  -- tasks
  -- (priority, period, ofset, jitter, WCET, blocking, interference,
  deadline, response)
  task Task_i is interrupt (11, 600, 0, 0, 2, 0, 0, 100, 0);
  task Task_1 is periodic (5, 350, 0, 0, 35, 0, 0, 100, 0)
    uses Lock_emergencia (6);
  task Task_2 is periodic (4, 150, 0, 0, 45, 0, 0, 150, 0)
    uses Lock_ordenes (10), Lock_emergencia (6);
  task Task_3 is periodic (3, 200, 0, 0, 40, 0, 0, 200, 0)
    uses Lock_ordenes (8);
  task Task_4 is periodic (2, 300, 0, 0, 20, 0, 0, 300, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
  task Task_5 is sporadic (1, 600, 0, 0, 30, 0, 0, 600, 0)
    uses Lock_ordenes (5), Lock_altitud (6);
end Sample;
```

A continuación, se muestran los resultados:

Response time analysis for task set Sample

Id	Task	A	PR	Period	Offset	Jitter	Budget	Block	Deadline	Response Sch

1	Task_i	I	11	600.000	0.000	0.000	2.000	0.000	100.000	2.000 Yes
2	Task_1	P	5	350.000	0.000	0.000	35.000	6.000	100.000	43.000 Yes
3	Task_2	P	4	150.000	0.000	0.000	45.000	8.000	150.000	90.000 Yes
4	Task_3	P	3	200.000	0.000	0.000	40.000	5.000	200.000	127.000 Yes
5	Task_4	P	2	300.000	0.000	0.000	20.000	6.000	300.000	148.000 Yes
6	Task_5	S	1	600.000	0.000	0.000	30.000	0.000	600.000	257.000 Yes

Priority ceilings for shared resources

Id	Name	PR

1	Lock_emerg	5
2	Lock_orden	4
3	Lock_altit	2

Total processor utilization: 72.00%

6. Interpretación de los resultados

Dado que todos los tiempos de respuesta son menores que los plazos, se ha podido corroborar que el sistema es planificable. Con la prueba de utilización de CPU hubiera bastado, dado que es condición suficiente para la planificabilidad. Sin embargo, si dicha prueba hubiera fallado, podríamos haber recurrido al análisis de tiempo de respuesta para verificar la planificabilidad del sistema (dado que la prueba de utilización de CPU no es condición necesaria).

Mediante la herramienta de simulación RTA se pudieron verificar los cálculos de los tiempos de respuesta, así como los tiempos de bloqueo en recursos compartidos, y el porcentaje de utilización de CPU. Se ha comprobado la utilidad de la herramienta, ya que realizar los cálculos a mano puede resultar tedioso, especialmente para porcentajes altos de utilización de CPU, en cuyo caso el cálculo del tiempo de respuesta de cada tarea puede llegar a requerir de numerosas iteraciones.