



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 3: Cálculo de tiempos de respuesta en un STR distribuido

Alejandro Casanova Martín
N.º de matrícula: bu0383

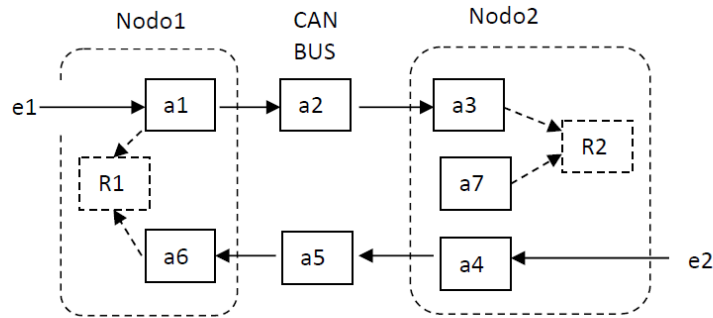
Madrid, 14 de abril 2024

Índice

1.	Planteamiento del Problema.....	3
2.	Primera Iteración (sin jitter).....	4
3.	Segunda Iteración (con jitter).....	7
4.	Tercera Iteración	10
5.	Interpretación de los resultados.....	12

1. Planteamiento del Problema

Se cuenta con un STR distribuido compuesto por dos nodos que se comunican con mediante un bus CAN. En la tabla inferior se indican las prioridades de las tareas, plazos, tiempos de cómputo y uso de recursos compartidos. Adicionalmente, se indica que los plazos globales para los eventos e_1 y e_2 son $D_{13} = 100$ y $D_{26} = 150$, respectivamente.



	Actividad (Tarea o Mensaje)	Prioridad	Atributos de las actividades			RU1	RU2
			Ti	Ci	Di		
Nodo 1	a1	2	50	15	50	5	
	a6	1	100	30	80	8	
Red	a2	2	50	10			
	a5	1	150	4			
Nodo 2	a3	3	40	10	40		2
	a4	2	150	20	150		-
	a7	1	200	30	70		4

Figura 1. Datos del ejercicio.

Se pide calcular los tiempos de respuesta locales y globales, y razonar si el sistema es planificable.

2. Primera Iteración (sin jitter)

Cálculo de los Tiempos de Respuesta Locales

Se calculan los tiempos de respuesta locales mediante la siguiente fórmula:

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

Dado que se trata de varios nodos y potencialmente habrá que realizar varias iteraciones, se resolverá el análisis de los tiempos de respuesta haciendo uso de la herramienta RTA.

Configuración de la Simulación del Nodo 1

```
-- Ejercicio 3, Iteración 1, Nodo 1
task set Node_1 with 2 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R1;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a1 is sporadic (2, 50, 0, 0, 15, 0, 0, 50, 0) uses R1 (5);
task a6 is sporadic (1, 100, 0, 0, 30, 0, 0, 80, 0) uses R1 (8);
end Node_1;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 1

```
Response time analysis for task set Node_1
-----

Id Task  A PR  Period  Offset  Jitter  Budget  Block Deadline Response Sch
-- --
1 a1     S  2   50.000  0.000  0.000  15.000  8.000  50.000  23.000 Yes
2 a6     S  1  100.000  0.000  0.000  30.000  0.000  80.000  45.000 Yes

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name      PR
-- --
1 R1         2

Total processor utilization:  60.00%
```

Configuración de la Simulación del Nodo 2

```
-- Ejercicio 3, Iteración 1, Nodo 2
task set Node_2 with 3 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R2;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a3 is sporadic (3, 40, 0, 0, 10, 0, 0, 40, 0) uses R2(2);
task a4 is sporadic (2, 150, 0, 0, 20, 0, 0, 150, 0);
task a7 is periodic (1, 200, 0, 0, 30, 0, 0, 70, 0) uses R2(4);
end Node_2;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 2

Response time analysis for task set Node_2

Id	Task	A	PR	Period	Offset	Jitter	Budget	Block	Deadline	Response	Sch
1	a3	S	3	40.000	0.000	0.000	10.000	4.000	40.000	14.000	Yes
2	a4	S	2	150.000	0.000	0.000	20.000	4.000	150.000	34.000	Yes
3	a7	P	1	200.000	0.000	0.000	30.000	0.000	70.000	70.000	Yes

Priority ceilings for shared resources

Id	Name	PR
----	------	----

1	R2	3
---	----	---

Total processor utilization: 53.33%

Configuración de la Simulación del Bus CAN

```
-- Ejercicio 3, Iteración 1, CAN bus
task set CAN_Node with 2 tasks is
  -- tasks
  -- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
  task a2 is sporadic (2, 50, 0, 0, 10, 0, 0, 200, 0);
  task a5 is sporadic (1, 150, 0, 0, 4, 0, 0, 200, 0);
end CAN_Node;
```

Resultados de la Simulación del Bus CAN

Response time analysis for task set CAN_Node

Id	Task	A	PR	Period	Offset	Jitter	Budget	Block	Deadline	Response	Sch
1	a2	S	2	50.000	0.000	0.000	10.000	0.000	200.000	10.000	Yes
2	a5	S	1	150.000	0.000	0.000	4.000	0.000	200.000	14.000	Yes

Total processor utilization: 22.67%

Resumen de Resultados y Cálculo de los Jitter y Tiempos de Respuesta Globales

Una vez calculados los tiempos de respuesta locales, se procede al cálculo de los *jitter* y los tiempos de respuesta globales con respecto a los eventos e_1 y e_2 . Se ha empleado la notación R_{ij} para indicar el tiempo de respuesta global de la tarea a_j con respecto al evento e_i , y la notación J_{ij} para nombrar, de manera similar, al *jitter* de la tarea a_j con respecto al evento e_i .

Evaluando el diagrama y las prioridades de las tareas, podemos concluir que:

- El *jitter* de la tarea a_2 afectará a la tarea a_5 , por tener mayor prioridad.
- El *jitter* de la tarea a_3 afectará a las tareas a_4 y a_7 , por tener mayor prioridad.
- El *jitter* de la tarea a_6 no afectará a la tarea a_1 , dado que esta segunda tiene mayor prioridad.

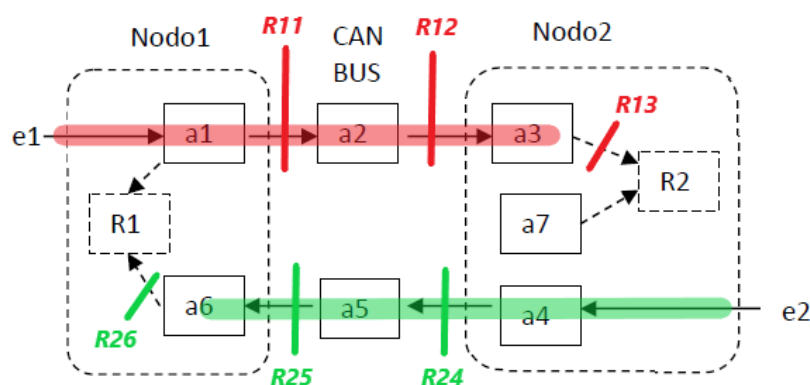


Figura 2. Diagrama del sistema, anotado con los tiempos de respuesta globales en relación con cada evento.

	Tareas	P_i	R_i (local)	D_i (local)	J_{ij} (jitter)	R_{ij} (global)	D_{ij} (global)
Nodo 1	a_1	2	23	50 ✓	-	$R_{11} = 23$	-
	a_6	1	45	80 ✓	$J_{26} = R_{25} = 48$	$R_{26} = 93$	150 ✓
Red	a_2	2	10	-	$J_{12} = R_{11} = 23$	$R_{12} = 33$	-
	a_5	1	14	-	$J_{25} = R_{24} = 34$	$R_{25} = 48$	-
Nodo 2	a_3	3	14	40 ✓	$J_{13} = R_{12} = 33$	$R_{13} = 47$	100 ✓
	a_4	2	34	150 ✓	-	$R_{24} = 34$	-
	a_7	1	70	70 ✓	-	-	-

Tabla 1. Resumen de los resultados de la primera iteración y cálculos de jitter y de tiempos de respuesta globales.

Tras la primera iteración, y sin tener en cuenta en *jitter*, se puede comprobar que los plazos se cumplen.

3. Segunda Iteración (con jitter)

Cálculo de los Tiempos de Respuesta Locales

Se incorporan los *jitter* calculados en el apartado anterior, y se vuelven a calcular los tiempos de respuesta locales mediante simulación.

Configuración de la Simulación del Nodo 1

```
-- Ejercicio 3, Iteración 2, Nodo 1
task set Node_1 with 2 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R1;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a1 is sporadic (2, 50, 0, 0, 15, 0, 0, 50, 0) uses R1 (5);
task a6 is sporadic (1, 100, 0, 48, 30, 0, 0, 80, 0) uses R1 (8);
end Node_1;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 1

```
Response time analysis for task set Node_1
-----

Id Task A PR Period Offset Jitter Budget Block Deadline Response Sch
-- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --
1 a1 S 2 50.000 0.000 0.000 15.000 8.000 50.000 23.000 Yes
2 a6 S 1 100.000 0.000 48.000 30.000 0.000 80.000 93.000 No

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name PR
-- -- --
1 R1 2

Total processor utilization: 60.00%
```

Configuración de la Simulación del Nodo 2

```
-- Ejercicio 3, Iteración 2, Nodo 2
task set Node_2 with 3 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R2;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a3 is sporadic (3, 40, 0, 33, 10, 0, 0, 40, 0) uses R2(2);
task a4 is sporadic (2, 150, 0, 0, 20, 0, 0, 150, 0);
task a7 is periodic (1, 200, 0, 0, 30, 0, 0, 70, 0) uses R2(4);
end Node_2;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 2

```
Response time analysis for task set Node_2
-----

Id Task A PR  Period  Offset  Jitter  Budget  Block Deadline Response Sch
-----
 1  a3 S  3   40.000   0.000  33.000  10.000   4.000   40.000   47.000 No
 2  a4 S  2  150.000   0.000   0.000  20.000   4.000  150.000   44.000 Yes
 3  a7 P  1  200.000   0.000   0.000  30.000   0.000   70.000   80.000 No

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name      PR
-----
 1 R2        3

Total processor utilization:  53.33%
```

Configuración de la Simulación del Bus CAN

```
-- Ejercicio 3, Iteración 2, CAN bus
task set CAN_Node with 2 tasks is
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a2 is sporadic (2,  50, 0, 23, 10, 0, 0, 200, 0);
task a5 is sporadic (1, 150, 0, 34,  4, 0, 0, 200, 0);
end CAN_Node;
```

Resultados de la Simulación del Bus CAN

```
Response time analysis for task set CAN_Node
-----

Id  Task A PR  Period  Offset  Jitter  Budget  Block Deadline Response Sch
-----
 1  a2  S  2   50.000   0.000  23.000  10.000   0.000  200.000   33.000 Yes
 2  a5  S  1  150.000   0.000  34.000   4.000   0.000  200.000   48.000 Yes

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name      PR
-----

Total processor utilization:  22.67%
```

Resumen de Resultados y Cálculo de los Nuevos Jitter y Tiempos de Respuesta Globales

Se vuelven a realizar los cálculos y se comprueba que algunos tiempos de respuesta y valores de *jitter* han cambiado.

	Tareas	P_i	R_i (local)	D_i (local)	J_{ij} (jitter)	R_{ij} (global)	D_{ij} (global)
Nodo 1	a ₁	2	23	50 ✓	-	R ₁₁ = 23	-
	a ₆	1	45	80 ✓	J ₂₆ = R ₂₅ = 92	R ₂₆ = 137	150 ✓
Red	a ₂	2	33	-	J ₁₂ = R ₁₁ = 23	R ₁₂ = 56	-
	a ₅	1	48	-	J ₂₅ = R ₂₄ = 44	R ₂₅ = 92	-
Nodo 2	a ₃	3	14	40 ✓	J ₁₃ = R ₁₂ = 56	R ₁₃ = 70	100 ✓
	a ₄	2	44	150 ✓	-	R ₂₄ = 44	-
	a ₇	1	80	70 ✗	-	-	-

Tabla 2. Resumen de los resultados de la segunda iteración y cálculos de jitter y de tiempos de respuesta globales.

Los tiempos de respuesta de las tareas a₂, a₄, a₅ y a₇ han aumentado, y el plazo de la tarea a₇ ya no se cumple. Los *jitter* de las tareas a₃, a₅ y a₆ han aumentado también, así como los tiempos de respuesta globales. Los plazos globales siguen cumpliéndose, pero el sistema es NO planificable dado que uno de los plazos locales no se ha cumplido.

4. Tercera Iteración

Aunque se ha comprobado que el sistema es NO planificable, se realizará una nueva iteración para comprobar si los valores de los *jitter* convergen, y si se siguen cumpliendo los plazos globales.

Cálculo de los Tiempos de Respuesta Locales

Configuración de la Simulación del Nodo 1

```
-- Ejercicio 3, Iteración 3, Nodo 1
task set Node_1 with 2 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R1;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a1 is sporadic (2, 50, 0, 0, 15, 0, 0, 50, 0) uses R1 (5);
task a6 is periodic (1, 100, 92, 58, 30, 0, 0, 80, 0) uses R1 (8);
end Node_1;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 1

```
Response time analysis for task set Node_1
-----

Id Task  A PR  Period  Offset  Jitter  Budget  Block  Deadline  Response  Sch
-- -- -- -- --
1  a1  S  2  50.000  0.000  0.000  15.000  8.000  50.000  23.000  Yes
2  a6  P  1  100.000  40.000  58.000  30.000  0.000  80.000  137.000  No

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name      PR
-- -- -- --
1  R1         2

Total processor utilization:  60.00%
```

Configuración de la Simulación del Nodo 2

```
-- Ejercicio 3, Iteración 3, Nodo 2
task set Node_2 with 3 tasks and 1 locks is
-- locks
lock R2;
-- tasks
-- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
task a3 is sporadic (3, 40, 0, 56, 10, 0, 0, 40, 0) uses R2(2);
task a4 is sporadic (2, 150, 0, 0, 20, 0, 0, 150, 0);
task a7 is periodic (1, 200, 0, 0, 30, 0, 0, 70, 0) uses R2(4);
end Node_2;
```

Resultados de la Simulación del Nodo 2

La herramienta RTA no permite simular, dado que el *jitter* de la tarea 3 es superior a su periodo. Por este motivo, se realizó el cálculo manualmente.

$$R_3^0 = C_3 + B_3 + J_4 = 10 + 4 + 56 = 70 \text{ ✖ Plazo NO Cumplido}$$

$$R_4^0 = C_4 + B_4 + C_3 = 20 + 4 + 10 = 34$$

$$R_4^1 = C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{34+56}{T_3} \right\rceil C_3 = 20 + 4 + 3 \cdot 10 = 54$$

$$R_4^2 = C_4 + B_4 + \left\lceil \frac{54+56}{T_3} \right\rceil C_3 = 20 + 4 + 30 = 54 \text{ ✔ Plazo Cumplido}$$

$$R_7^0 = C_7 + C_4 + C_3 = 30 + 20 + 10 = 60$$

$$R_7^1 = C_7 + \left\lceil \frac{60}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{60+56}{T_3} \right\rceil C_3 = 30 + 1 \cdot 20 + 3 \cdot 10 = 80$$

$$R_7^2 = C_7 + \left\lceil \frac{80}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{80+56}{T_3} \right\rceil C_3 = 30 + 1 \cdot 20 + 4 \cdot 10 = 90$$

$$R_7^3 = C_7 + \left\lceil \frac{90}{T_4} \right\rceil C_4 + \left\lceil \frac{90+56}{T_3} \right\rceil C_3 = 30 + 1 \cdot 20 + 4 \cdot 10 = 90 \text{ ✖ Plazo NO Cumplido}$$

Configuración de la Simulación del Bus CAN

```
-- Ejercicio 3, Iteración 3, CAN bus
task set CAN_Node with 2 tasks is
  -- tasks
  -- (priority,period,offset,jitter,WCEt,blocking,interference,deadline,response)
  task a2 is sporadic (2, 50, 0, 23, 10, 0, 0, 200, 0);
  task a5 is sporadic (1, 150, 0, 44, 4, 0, 0, 200, 0);
end CAN_Node;
```

Resultados de la Simulación del Bus CAN

```
Response time analysis for task set CAN_Node
-----

Id Task  A PR  Period  Offset  Jitter  Budget  Block Deadline Response Sch
-- -- --
1  a2  S  2  50.000  0.000  23.000  10.000  0.000  200.000  33.000 Yes
2  a5  S  1  150.000  0.000  44.000  4.000  0.000  200.000  58.000 Yes

Priority ceilings for shared resources
-----

Id Name      PR
-- -- --

Total processor utilization:  22.67%
```

Resumen de Resultados y Cálculo de los Nuevos Jitter y Tiempos de Respuesta Globales

Se vuelven a realizar los cálculos y se comprueba si algunos tiempos de respuesta y valores de *jitter* han cambiado.

	Tareas	P_i	R_i (local)	D_i (local)	J_{ij} (jitter)	R_{ij} (global)	D_{ij} (global)
Nodo 1	a ₁	2	23	50 ✓	-	$R_{11} = 23$	-
	a ₆	1	137	80 ✗	$J_{26} = R_{25} = 112$	$R_{26} = 249$	150 ✗
Red	a ₂	2	33	-	$J_{12} = R_{11} = 23$	$R_{12} = 56$	-
	a ₅	1	58	-	$J_{25} = R_{24} = 54$	$R_{25} = 112$	-
Nodo 2	a ₃	3	70	40 ✗	$J_{13} = R_{12} = 56$	$R_{13} = 126$	100 ✓
	a ₄	2	54	150 ✓	-	$R_{24} = 54$	-
	a ₇	1	90	70 ✗	-	-	-

Tabla 3. Resumen de los resultados de la tercera iteración y cálculos de jitter y de tiempos de respuesta globales.

Varios *jitter* y tiempos de respuesta han aumentado. Además, los plazos globales y varios de los plazos locales han dejado de cumplirse. Como ya sabíamos, el sistema es NO planificable. Aunque no ha convergido el algoritmo, detendremos el análisis aquí, dado que queda claro que el sistema no es planificable, tanto local como globalmente. Además, varios de los *jitter* han sobrepasado el valor del periodo de sus tareas correspondientes, lo que es una clara muestra de su no planificabilidad, dado que no sólo no se cumplirán los plazos, sino que incluso podrían perderse periodos enteros sin que las tareas lleguen a ejecutarse. Además, la herramienta RTA no permite simular para tareas con un *jitter* superior a su periodo.

5. Interpretación de los resultados

Se ha asumido que se deben sumar los *jitter* de las propias tareas a su propio tiempo de respuesta, y se ha podido comprobar cómo dichos tiempos crecían rápidamente tras pocas iteraciones. Dado que el sistema presenta tres tareas en serie por cada evento, la suma de retardos en cascada ha sido significativa, y ha impedido que se cumplieran los plazos, llegando los *jitter* incluso a sobrepasar los periodos de sus propias tareas.

Gracias a la herramienta de simulación RTA se pudieron verificar los cálculos de los tiempos de respuesta, así como los tiempos de bloqueo en recursos compartidos, el *jitter*, y el porcentaje de utilización de CPU. Sin embargo, en los casos en los que el *jitter* sobrepasaba el valor del periodo, la herramienta no permitió simular.