

Modelo estocástico para tiempos de arribo en tareas de tiempo real

Daniel Cruz Pérez ¹, José de Jesús Medel Juárez ², Pedro Guevara López ³

^{1,2} Centro de Investigación en Computación
Instituto Politécnico Nacional

Av. Juan de Dios Bátiz s/n C. P. 07738 México D. F., Tel. 57296000 Ext. 56523.

³pguevara@dfi.telmex.net.mx, ²jjmedel@pollux.cic.ipn.mx, ¹dcruzp@hotmail.com

Resumen: En este trabajo se presenta una discusión de los modelos de tareas (incluyendo sus arribos) en tiempo real (TTR) realizados por diversos investigadores y se propone un nuevo modelo de tiempos de arribo para TTR del tipo: a) periódicas, b) esporádicas y c) no-periódicas., al considerar a [2]. A través de ésta caracterización se obtiene dinámicamente el tiempo de arribo relativo π_k y el tiempo de arribo absoluto l_k de cada una de los tres tipos de tareas.

Palabras clave: Arribo, plazo, restricción de tiempo, tarea, tiempo real.

1. Introducción

Las TTR Periódicas son aquellas que se activan regularmente con *periodo* T_i y tiempo de cálculo c_i , *ambos* conocidos y constantes. La restricción principal es el *plazo* de ejecución (d_i) donde $d_i \leq T_i$. Las tareas periódicas son encontradas comúnmente en aplicaciones como aviones y procesos de control donde se requiere un monitoreo uniforme así como un procesamiento de datos con restricciones de tiempo y con respuestas de excelente calidad (ver: [3] y [16]).

Las Tareas No-periódicas son activadas irregularmente con un periodo desconocido. La restricción de tiempo es generalmente el *plazo* d_i [3].

Las tareas Esporádicas, de acuerdo a [4], [1], [6], [7], se caracterizan por un *tiempo de ejecución* C_i y un *tiempo mínimo de inter-arribo* T_i entre tiempos de activación. Las tareas esporádicas son asociadas con procesamiento de eventos que responden a entradas de dispositivos no periódicos; esos eventos ocurren repetidamente, pero el intervalo de tiempo entre ocurrencias consecutivas varía y puede ser arbitrariamente largo.

Liu y Layland en [6] dan las bases para el modelado de STR partiendo de conceptos diferentes a los utilizados por Martín en [8]. En su artículo se hace una mención a las TTR en donde se asumen ciertas características en el ambiente. Las tareas en tiempo real se restringen a un conjunto de condiciones: 1) se considera que las tareas críticas son las periódicas con tiempos de arribo constantes entre solicitudes, 2) el plazo consiste solamente en la restricción de capacidad de ejecución, esto es, cada tarea debe ser completada antes de que ocurra la próxima solicitud. 3) las tareas son

independientes en cuanto a que los tiempos de arribo para ciertas tareas no dependen de la iniciación o terminación de solicitudes de otras tareas, 4) el tiempo de ejecución de cada tarea es constante para esa tarea y no varía con el tiempo. Este tiempo de ejecución se refiere al tiempo que se tome el procesador para ejecutar la tarea sin interrupción, 5) cualquier tarea no-periódica en el sistema es especial; estas son rutinas de inicialización o recuperación de fallas; éstas tareas desplazan tareas periódicas mientras ellas mismas son ejecutadas y no tienen restricciones de tiempo críticas o tipo "hard".

2. Modelos de tareas en tiempo real

En [6] se presenta un modelo sobre los tiempos de arribo y los plazos de las tareas, tomando como base el trabajo desarrollado por Martin en [8] quien, aunque menciona las causas por las que un sistema de esta clase puede ser lento tomando en cuenta desde los discos duros hasta los sistemas de comunicación con un modelo de petición de servicio usando teoría de colas y confiabilidad de sistemas, presenta varias deficiencias y omisiones (como los plazos) que ya han sido superadas.

En [9] se define una tarea en tiempo real como la pareja (Φ, P) , donde Φ es un arreglo de tiempos de ejecución (ϕ_1, ϕ_2, \dots) , y P es el tiempo mínimo de separación, el plazo de cada periodo es P después de su tiempo de arribo. También en [9] se propone un modelo "multicuadros" donde las tareas en tiempo real tipo quedan definidas con pareja (Γ, P) donde Γ es un arreglo de N tiempos de ejecución $(C^1, C^2, \dots, C^{N-1})$, para $1 \leq N$ y P es el tiempo mínimo de separación. El tiempo de ejecución del i -ésimo elemento es $C^{((i-1) \bmod N)}$, donde $1 \leq i$. El plazo para cada instancia es P después su tiempo de arribo. Por desgracia, estos modelos son determinísticos y estáticos y debe conocer de antemano todos los tiempos de cada instancia y cada tarea.

En [10] se define un modelo de tareas esporádicas, en donde los tiempos de ejecución tienen una variación estocástica y la función de distribución probabilística de variación es conocida para el sistema. El autor hace un análisis fuera de línea estático para planificar las tareas; cada tarea esporádica es asociada con dos costos, K_1 y K_2 . El primero es el costo que implica no aceptar la tarea y el segundo es el costo que implica que la tarea no cumpla con su plazo.

En [11] los autores proponen que las tareas no-periódicas τ_i (del conjunto de tareas no-periódicas $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N\}$) se representan con lo siguiente

- Tiempo de arribo R_i
- Plazo absoluto D_i
- Peor tiempo de ejecución C_i
- Variable de ejecución e_i denotando el tiempo de procesamiento ya hecho para τ_i en cualquier instante de tiempo
- Variable de ejecución w_i denotando el último de comienzo o de τ_i , que es una función del tiempo actual " t " y el valor de e_i
- Tiempo de arribo menor $est(i)$

- Tiempo de arribo mayor $l_{st}(i)$

Para las tareas esporádicas de tipo crítico se asume que el tiempo de inicio es igual al tiempo de arribo. Se define un conjunto $S = \{S_1, S_2, \dots, S_m\}$ como el conjunto de tareas esporádicas que tienen que ser planificadas con T . Este modelo tampoco es dinámico y es usado para planificación.

En [1] se dice que una tarea periódica se invoca con periodos regulares mientras que una tarea esporádica se invoca con periodos arbitrarios de tiempo pero este periodo tiene un valor mínimo conocido. Una tarea T es una pareja (c, p) donde: c es el tiempo de ejecución máximo de terminación de la tarea, p es el período o intervalo mínimo entre invocaciones de T . Si T es periódico, p especifica un intervalo constante entre invocaciones. Si T es esporádico, p especifica el intervalo mínimo entre invocaciones.

Para las tareas periódicas si t_k es el momento de la k -ésima invocación de la tarea T entonces:

- La $(k+1)$ -ésima invocación ocurrirá en $t_{k+1} = t_k + p$.
- La k -ésima ejecución de la tarea T debe comenzar después de t_k y debe ser completada antes de $t_k + p$.

Para las tareas esporádicas, si t_k es el tiempo de la k -ésima de la tarea T entonces:

- La $(k+1)$ -ésima invocación ocurrirá no antes de $t_k + p$, por lo tanto $t_{k+1} \geq t_k + p$.
- La k -ésima ejecución de la tarea T debe comenzar después de t_k y debe ser completada antes de $t_k + p$.

Se asume que las invocaciones de las tareas esporádicas son independientes y dependen solamente del momento de la última invocación.

En [12] se explica que un sistema de tareas esporádicas τ es una colección de tareas $\{T_1, T_2, \dots\}$. Una tarea esporádica T_i está caracterizada por tres elementos: tiempo de ejecución e_i , un plazo crítico d_i , y un periodo mínimo de separación p_i , con $e_i \leq d_i$ y $e_i \leq p_i$, de tal forma que $T_i = (e_i, d_i, p_i)$, $i \leq n$. En este caso, las tareas se representan con tres valores. No presenta ninguna relación temporal con las otras tareas.

Para el modelo propuesto en [13] se aclara que los tiempos de arribo y plazos son arbitrarios. El tiempo de arribo de una tarea T_i se denota con A_i , su tiempo de ejecución (posiblemente desconocido) se denota con C_i y su tiempo de respuesta máximo deseado se denota con D_i . Una tarea cumple con su plazo si termina antes de $A_i + D_i$. En el documento $A_i + D_i$ representa el plazo absoluto de la tarea y D_i su plazo relativo. El modelo no es general ya que solo toma en cuenta las tareas no-periódicas y además no propone un patrón para el arribo de tareas.

El modelo propuesto en [14] da una relación entre arribos contiguos de dos instancias en una TTR sin llegar a ser un modelo dinámico. Las consideraciones son:

- Todas las tareas τ_i : $i=1, \dots, n$ tienen plazos críticos;
- Todas las tareas *no-periódicas* J_i : $i=1, \dots, m$ no tienen plazos;
- Cada tarea periódica τ_i tiene un periodo constante T_i y un tiempo máximo de ejecución C_i , que se considera conocido y puede ser derivado por un análisis estático del código fuente;
- Todas las tareas periódicas son activada simultáneamente al tiempo $t=0$; por ejemplo, la primer instancia de cada tarea periódica tiene un tiempo de arribo $r_i(0)=0$;
- El tiempo de arribo de la k -ésima instancia periódica está dado por $r_i(k)=r_i(k-1)+T_i$;
- El plazo de la k -ésima instancia periódica está dado por $d_i(k)=r_i(k)+T_i$;
- El tiempo de arribo de cada tarea aperiódica es desconocido;
- El peor tiempo de ejecución de cada tarea aperiódica se considera conocido en su tiempo de arribo.

El modelo propuesto en [15] (un primer intento por parte de los autores de este artículo) se desarrollo para el análisis dinámico de predictibilidad. Consiste en el desarrollo de un algoritmo que brinde mayor información sobre el arribo y comportamiento de las TTR a través de un FDTR (Filtro Digital en Tiempo Real (ver por ejemplo: [16] y [17])) que permita reconstruir, seguir y predecir el desempeño de cada tarea, todo esto con el fin de hacer estudios de y confiabilidad de los STR y obtener mejores algoritmos de planificación en línea [3]. El modelo propuesto es:

$$x_{k+1}=a_k x_k + \omega^1_k \quad (1)$$

$$y_k = x_k + \omega^2_k \quad (2)$$

Donde los ruidos ω^1_k y ω^2_k corresponden a perturbaciones internas y externas al procesador, no están correlacionados entre si, pero si con la señal generadora de tareas y_k .

3. Modelo Estocástico para Tiempos de Arribo en Tareas de Tiempo Real

Como respuesta a los problemas expuestos en las secciones anteriores, en este trabajo se presenta un Modelo General para Tiempos de Arribo en las TTR basado en un modelo tipo recursivo que usa promedios móviles para caracterizar a las TTR, *de acuerdo a la dinámica de sus parámetros en:* a) periódicas, b) no-periódicas y c) esporádicas.

El modelo está representado por una ecuación de diferencias estocástica, de primer orden y primero grado, variante en el tiempo y no estacionario; considerando que las perturbaciones externas al procesador no están correlacionados y que obedecen a una función de distribución normal. El modelo propuesto es monovariable, esto quiere decir que solo se caracteriza el tiempo de arribo de una tarea. Se considera que los

tiempos de ejecución máximos; los plazos mínimo y máximo son conocidos; las tareas son críticas; el "jitter" está acotado dentro de un intervalo conocido.

Este modelo servirá para desarrollar un algoritmo que brinde mayor información sobre el arribo y comportamiento de las TTR a través de un Filtro Digital en Tiempo Real (ver: [16], [17]) que permita reconstruir, seguir y predecir el desempeño de cada tarea; todo esto con el fin de hacer estudios de predictibilidad y confiabilidad de los STR y obtener mejores algoritmos de planificación en línea de acuerdo a [3].

Definición 1. (Tiempo de arribo absoluto de una TTR). El tiempo de arribo absoluto l_k de una instancia con índice k de una TTR J_i está definido como el tiempo en que la instancia pide atención al procesador en relación al origen temporal de referencia.

Definición 2. (Tiempo de inter-arribo de una TTR). El tiempo de inter-arribo o tiempo de arribo relativo π_k de una instancia con índice k de una TTR J_i está definido como el tiempo en que la instancia pide atención al procesador en relación al arribo absoluto de la instancia con índice $k-1$.

Definición 3. (Fase de una TTR). La fase ϕ_i de una TTR está definida como el tiempo de arribo absoluto o el tiempo de inter-arribo de su primera instancia, esto es: $\phi_i = l_1 = \pi_1$.

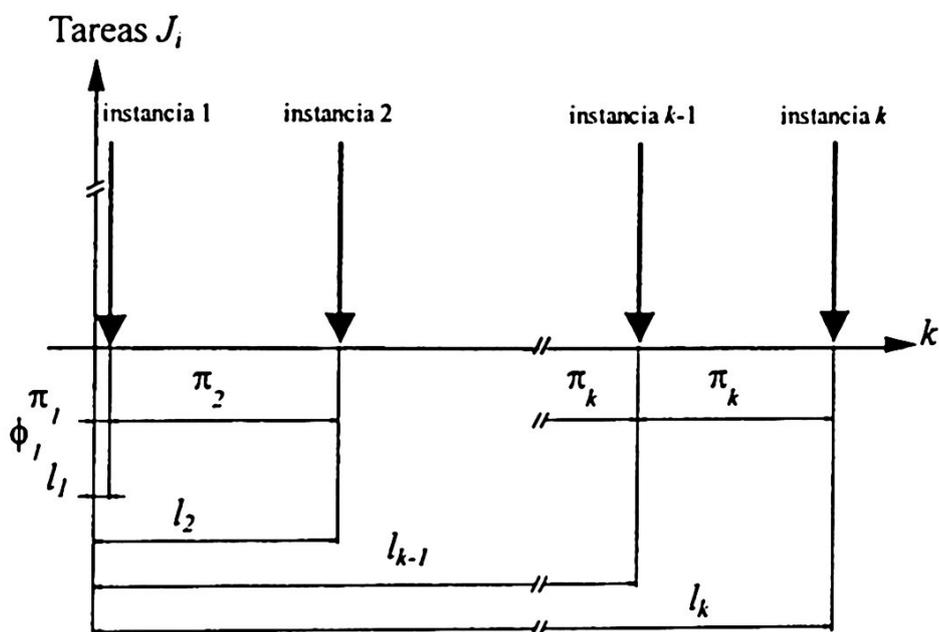


Fig. 1. Tiempos de arribo absoluto y tiempos de inter-arribo para k instancias para una tarea de TR.

Definición 4. (Tiempo de inicio de una TTR). El tiempo de inicio s_k de una instancia con índice k de una TTR J_i está definido como el tiempo en que la instancia es atendida por el procesador en relación al origen temporal de referencia. Esto es $s_k =$

$l_k + v_k$, donde v_k es una variable aleatoria positiva denominada "jitter" y que depende del software y hardware de la computadora.

Propuesta 1. (Tiempo de arribo absoluto de una TTR). El tiempo de arribo absoluto l_k de una instancia k de una TTR J_i está descrito por:

$$l_k = l_{k-1} + \pi_k. \quad (3)$$

Propuesta 2. (Tiempo de inter-arribo en una TTR). El tiempo de inter-arribo π_k está definido por:

$$\pi_k = a_k (\pi_{k-1} - w_{k-1}) + u_k + w_k \quad (4)$$

Donde:

- a_k es el parámetro del sistema,
- π_{k-1} Tiempo de inter-arribo de la instancia con índice $k-1$,
- w_k son las perturbaciones externas al procesador, representadas a través de una variable aleatoria con distribución gaussiana,
- u_k es el tiempo de inter-arribo de referencia.

4. Caracterización del Tiempo de Inter-Arribo de Tareas Periódicas, Esporádicas y No-Periódicas

La caracterización de los diferentes tipos de TTR según su arribo se realizó utilizando el modelo de las ecuaciones (1) y (5); se utilizó el software Matlab 5.0 y se presentan las gráficas obtenidas.

Caso 1. TTR Periódica

Se hicieron las siguientes consideraciones para el modelo de una TTR periódica usando el modelo de las ecuaciones (1) y (5):

- $a_k = 0.1 \forall k,$
- $u_k = T_k - a_k T,$
- $T_k = 2$ unidades de tiempo. (Período de referencia y es constante para todo k),
- $w_k =$ Variable aleatoria con amplitud máxima de 0.1.

Para 100 intervalos con índice k se aprecia en la figura 4.

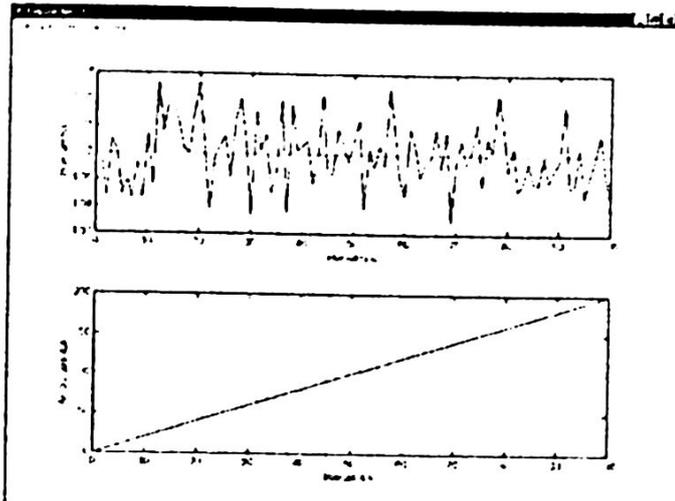


Fig. 4. Tiempos de inter-arribo (π_k) y arribo absoluto (I_k) para 100 instancias de una tarea periódica (La línea de referencia es T_k).

Caso 2. TTR Esporádica

Se hicieron las siguientes consideraciones para el modelo de una TTR periódica usando el modelo de las ecuaciones (1) y (5):

$$\begin{aligned}
 a_k &= 0.95 \sin(k), \\
 u_k &= 5, \text{ es el ínfimo tiempo de arribo,} \\
 w_k &= \text{Variable aleatoria con amplitud máxima de} \\
 &= 0.95.
 \end{aligned}$$

Para 100 intervalos con índice k se aprecia en la figura 5.

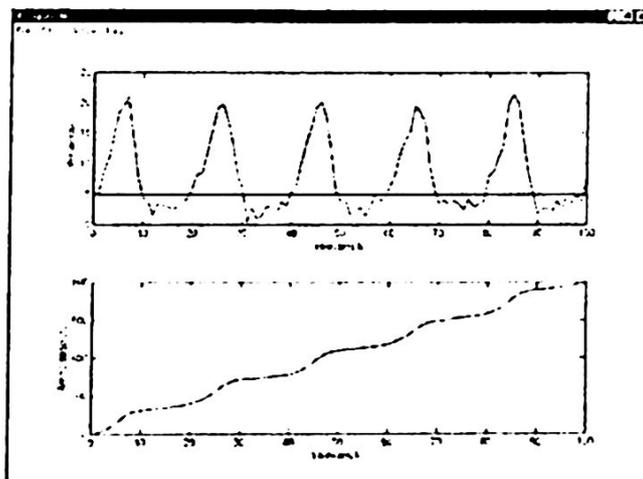


Fig. 5. Tiempos de inter-arribo (π_k) y arribo absoluto (I_k) para 100 instancias de una tarea esporádica. La línea de referencia es u_k .

Caso 3. TTR No periódica

Se hicieron las siguientes consideraciones para el modelo de una TTR periódica usando el modelo de las ecuaciones (1) y (5):

- a_k = Variable aleatoria positiva con amplitud máxima de 0.95.
 u_k = 5, es el mínimo tiempo de arribo,
 w_k = Variable aleatoria positiva con amplitud máxima de 0.95.

Para 100 intervalos con índice k se aprecia en la figura 6.

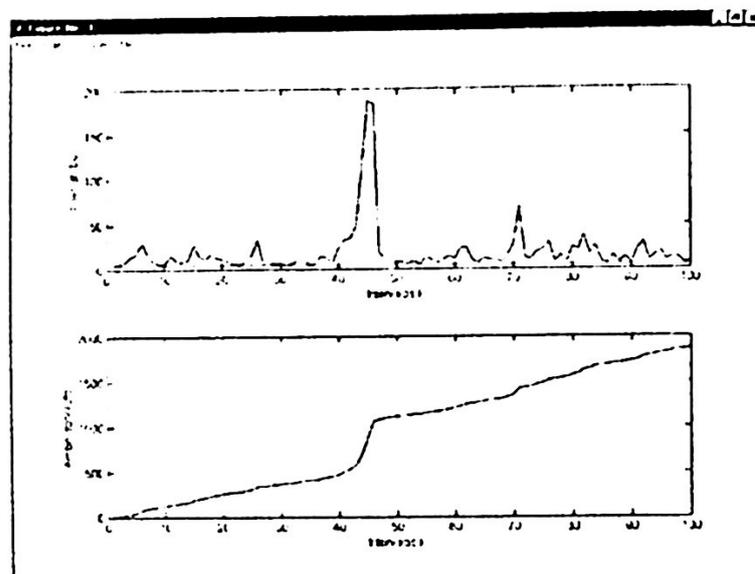


Fig. 6. Tiempos de inter-arribo (π_k) y arribo absoluto (I_k) para 100 instancias de una tarea no-periódica. La línea de referencia es u_k .

Conclusiones

La mayoría de los modelos de tiempos de arribo en Tareas de Tiempo Real son estáticos y no consideran la dinámicas internas que pueden intervenir en los arribos; por tal motivo este trabajo es el resultado de una investigación que involucra diferentes factores (errores de medición y comportamiento aleatorio generado en el medio ambiente, entre otros.) que afectan directamente al arribo de una tarea, ya sea periódica, esporádica o no-periódica. El modelo propuesto se basa en un sistema, recursivo y dinámico que consume pocos recursos y permite dar un seguimiento en línea de las tareas para posibles análisis de predictibilidad y planificación tanto en tiempos relativos como absolutos.

Bibliografía

- [1] Jeffay K., Stanat D., Martel C. (1991). *On non-preemptive scheduling of periodic and sporadic tasks*. Proceedings of the Twelfth IEEE Real-Time Systems Symposium, San Antonio Texas.
- [2] Liu C., Layland J. (1973). *Scheduling algorithms for multiprogramming in hard-real-time environment*. Journal of the ACM, Vol. 20, No. 4, (1982), pp273-250.
- [3] Buttazzo G. (1997) *Hard real-time computing systems*. Scuola Superiore S. Anna, Kluwer Academic Publishers.
- [4] Migge J. (1999). *Theoretical background*. Sophia Antipolis. <http://www.sop.inria.fr/mistral/personnel/Jorn.Migge/manual/node1.html>
- [5] Tia T., Deng Z., Shankar M., Storch M., Sun J., Wu L., Liu J. (1995). *Probabilistic performance guarantee for real-time tasks with varying computation times*. IEEE Real-time technology applications symposium.
- [6] Liu J. "Real-time Systems" Ed. Prentice Hall USA 2000.
- [7] Rajkumar R. (1991). *Synchronization in real-time systems, a priority inheritance approach*. Kluwer Academic Publishers.
- [8] Martin J. (1980). *Diseño de sistemas de computadores en Tiempo Real*. Ed. Diana 1980.
- [9] Mok A., Chen D. (1997). *A general model for real-time tasks*. Technical report, University of Texas at Austin.
- [10] Ramanathan P., Kang D. (1994). *A generalized guarantee model for servicing sporadic tasks with firm deadlines*. Real-time Systems Journal May 1994.
- [11] Choi s., Agrawala A (1997). *Scheduling aperiodic and sporadic tasks in hard real-time systems*. Technical report University of Maryland
- [12] Burns A., Wellings A. "Real-time systems and programming languages". University of York, Addison Wesley, 1997.
- [13] Abeni L., Buttazzo G. (1999). *QoS Guarantee using probabilistic deadlines*. Proceedings of the IEEE Euromicro Conference on Real-Time Systems, York, UK, June 1999.
- [14] Spuri M. & Buttazzo G. (1996). *Scheduling aperiodic tasks in dynamic priority systems*. Journal of real-time systems.
- [15] Guevara P, Medel J. J. (2002). *Modelo ARMA para caracterización de tareas en tiempo real*". Taller Internacional de Instrumentación Virtual CIC-INDI 2002, Pachuca agosto de 2002.
- [16] Medel J.J., Guevara P. (2002). *Caracterización de Filtros Digitales en Tiempo Real para Computadoras Digitales*. Sometido a revisión en la Revista Computación y sistemas, mayo de 2002, México D.F.
- [17] Medel J.J., Guevara P. (2002). *Análisis Restrictivo para Filtros Digitales en Tiempo Real Presentando un Ejemplo para un SLIT tipo SISO*. IBERAMIA 2002, Sevilla España.

