

Análisis de Perturbaciones de Sistemas de Tiempo Real en Aplicaciones de Control

Ricardo Cayssials², José M. Urriza¹, Francisco E. Páez¹, Eduardo Schorb¹, Lucas Schorb¹, Sebastián Lucas¹

¹ Depto. de Informática, Fac.de Ingeniería, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Puerto Madryn, Argentina
+54 280-4472885 – Int. 117
josemurriza@unp.edu.ar

² Depto. de Ingeniería Eléctrica y Computadoras - Universidad Nacional del Sur

Bahia Blanca, Argentina
+54 291-4595000 - Int. 3372
ricardo.cayssials@uns.edu.ar

1 Resumen

Este proyecto plantea el desarrollo de técnicas y mecanismos de planificación de tiempo real flexibles, que permitan, de acuerdo a las condiciones de trabajo de una aplicación en determinado instante, modificar las características de tiempo real del sistema. Principalmente se abarcará la utilización de sistemas de tiempo real en aplicaciones de control y procesamiento de señales.

Palabras clave: Sistemas de Tiempo Real, Aplicaciones de Control, Procesamiento de Señales, Sistemas Embebidos, Planificación de CPU.

2 Contexto

El proyecto de investigación *Análisis de perturbaciones de Sistemas de Tiempo Real en Aplicaciones de Control* es dirigido por el Dr. Cayssials de la Universidad Nacional del Sur (UNS) y codirigido por el Dr. Urriza de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco (UNPSJB). Las líneas de investigación del presente proyecto concuerdan tanto con las desarrolladas por los integrantes del *Real Time Systems Group*, perteneciente a la Facultad de Ingeniería

de la UNPSJB, Sede Puerto Madryn, como con las emprendidas por el *Laboratorio de Sistemas Digitales* del Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Computadoras de la UNS, al cual pertenece el Dr. Cayssials. El proyecto es financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNPSJB.

3 Introducción

Tradicionalmente los Sistemas de Tiempo Real (*STR*) han sido concebidos para ser utilizados de forma casi exclusiva en grandes aplicaciones críticas en industrias automatizadas, en la exploración espacial, en dispositivos e instrumentación militar, en aviónica, sistemas de control, redes de comunicaciones, etc. Actualmente, sin embargo, los *STR* forman parte de creciente número de dispositivos electrónicos utilizados en el día a día. Se los puede encontrar tanto en dispositivos móviles (teléfonos celulares, *tablets*, GPS) como en las computadoras de los automóviles, etc. Se hace evidente que el dominio de recursos humanos y tecnológicos en el área de los *STR* es una necesidad imprescindible para cualquier nación industrializada en la actualidad.

Por lo general, los *STR* están constituidos por tareas periódicas. Las mismas deben finalizar su ejecución antes de un instante máximo denominado *vencimiento*. Este parámetro extra es parte de sus parámetros funcionales. Si

la tarea finalizara en un tiempo posterior a dicho instante, se dice que la misma ha perdido su vencimiento.

Los *STR* son clasificados dependiendo de si es permitido o no que la ejecución de una tarea finalice luego de perder su vencimiento. Así, si la ejecución puede finalizar en un instante posterior, el *STR* es denominado *blando*. Si bajo ninguna circunstancia se puede perder el vencimiento, el *STR* se clasifica como *duro* o *crítico*. Si únicamente una determinada cantidad de pérdidas de vencimiento es aceptable, el *STR* se denomina *firme*.

En la mayoría de las aplicaciones clásicas de *STR* previamente mencionadas, las decisiones del sistema provienen de algoritmos de control. Debido a que estas aplicaciones son consideradas *críticas*, estos *STR* son de tipo *duro*. Actualmente, sin embargo, los *STR* son utilizados en diversas áreas, cada una con requerimientos particulares [1]. Más específicamente, una aplicación puede requerir diferentes comportamientos del *STR* de acuerdo a las condiciones de funcionamiento que encuentre. Más aún, las restricciones temporales pueden ser sólo una entre varias condiciones de diseño a ser satisfechas. Por lo tanto, es necesario proponer mecanismos de planificación flexibles que permitan la adaptación del *STR* a diversas condiciones de trabajo, y al mismo tiempo minimicen el impacto en el resto de los requerimientos de diseño [2-4].

Generalmente, para garantizar el cumplimiento de los vencimientos, en los *STR duros*, las condiciones son conservadoras y diseñadas para el instante crítico de funcionamiento. En consecuencia, los sistemas resultan sobredimensionados debido al pesimismo introducido por estas condiciones. Este sobredimensionamiento genera una capacidad ociosa de procesamiento, que puede ser aprovechado por tareas denominadas *blandas* [5-7].

Muchas de las aplicaciones donde el uso de un *STR duro* es necesario, incluyen a los sistemas de control y el procesamiento de señales. El teorema del muestreo permite la utilización de sistemas de procesamiento digital en el mundo real, y en estos sistemas, la periodicidad de las tareas debe ser rigurosamente satisfecha a fin de garantizar una estricta relación entre el mundo analógico (real) y el sistema discreto (digital). De lo contrario, el *STR* introduce perturbaciones difíciles de modelar o predecir, que pueden imposibilitar recomponer digitalmente la naturaleza analógica de la aplicación. Para minimizar la influencia de estas perturbaciones, deben desarrollarse mecanismos de planificación que tengan en cuenta dichas perturbaciones. Esto es, adecuar los modelos de planificación utilizados en los *STR*, al modelo temporal planteado en la modelización discreta de aplicaciones de tiempo continuo.

Los efectos que produce la planificación de tareas en tiempo real, sobre diferentes aplicaciones, ha sido abordado en varios trabajos. En [8] se propone un algoritmo de asignación de prioridades que maximiza el desempeño teniendo en cuenta las características de control. El "*control server*", presentado en [9], facilita la implementación de tareas de control en *STR* flexibles. En

ambos trabajos se analizan las perturbaciones que un *STR* produce sobre una aplicación de control. Un modelo que separa las tareas de control en tres sub-tareas, con distintas características de tiempo real, es expuesto en [3]. Una estrategia de planificación, realimentada para múltiples tareas de control, se presenta en [10]. Esta estrategia optimiza el desempeño conforme a cual es la carga del sistema. Un estudio por medio de simulaciones donde se analizan los efectos sobre una aplicación de control es llevado a cabo en [11]. Todos los trabajos anteriores proponen modelos de tareas de control para reducir el *jitter*, pero ninguno refleja la perturbación que dicho *jitter* provoca sobre las condiciones de trabajo de una aplicación.

Por otro lado, algoritmos adaptativos *on-line* son propuestos en [4] y [10], que modifican el periodo de una tarea según la carga del sistema. Sin embargo, no se considera la degradación que producen sobre el desempeño de la aplicación.

Un mecanismo que modifica la estrategia de control en tiempo de ejecución, para compensar los efectos del *jitter*, se propone en [12]. En dicho trabajo los efectos variables del muestreo de entrada no son tenidos en cuenta. Cuando el sistema es implementado, al no ser continua la entrada, la modificación del período introduce un error de muestreo que no es considerado.

Este proyecto de investigación, busca resolver parte los problemas planteados en los párrafos anteriores, dentro de las diversas sub-disciplinas que poseen los *STR* y los sistemas de propósito dedicado (*embedded systems*). Para ello se analizarán los diferentes aspectos que provocan perturbaciones indeseadas en una aplicación, abordando métricas que las permitan cuantificar. Esto permitirá una evaluación eficiente de los *STR* empleados en aplicaciones de control, y proponer mejoras en las arquitecturas de procesamiento empleadas.

4 Líneas de Investigación y Desarrollo

Se trata de un proyecto de investigación científica y aplicada, con desarrollo experimental en el área de *Sistemas de Tiempo Real*, particularmente enfocado a la planificación flexible de tareas con requerimientos heterogéneos, en diferentes condiciones de funcionamiento y requerimientos externos. El principal campo de aplicación es en la industria de dispositivos de propósito dedicado, especialmente en aplicaciones de control industrial y procesamiento de señales.

5 Resultados y Objetivos

El proyecto se orienta principalmente a analizar y proponer tanto mecanismos como metodologías de planificación de tiempo real flexibles aptas para adaptarse a diferentes condiciones de funcionamiento y requerimientos externos, abarcando tanto aplicaciones de

control como de procesamiento de señales, en las cuales el comportamiento temporal debe satisfacerse de manera rigurosa, a fin de recomponer la naturaleza analógica de las aplicaciones.

La fecha de inicio del proyecto está estipulada para mediados de 2013, por lo cual no existen, a la actualidad, resultados directos del mismo.

Sin embargo, los objetivos específicos más importantes que se persiguen se pueden resumir en:

- Analizar y proponer métricas para la evaluación de las perturbaciones que los STR producen en el procesamiento de señales de control, a fin de realizar evaluaciones de eficiencia y proponer nuevos mecanismos de adaptación.
- Determinar la factibilidad de implementación de las metodologías propuestas en estructuras de diagramación tradicionales de tiempo real.
- Proponer arquitecturas de procesamiento adecuadas para el desarrollo de aplicaciones embebidas, que sumen valor a procesos productivos de la región.
- Publicar y difundir los resultados de las investigaciones realizadas en el marco del proyecto.
- Fomentar, incentivar y difundir las tareas de investigación en la Universidad.
- Interactuar con otros grupos de investigación en tareas conjuntas de investigación y desarrollo.
- Mejorar la formación de recursos humanos altamente calificados, con capacidades de investigación y desarrollo, brindando gran participación a los alumnos del proyecto.

Además de los trabajos académicos y de divulgación científica, se espera mejorar e implementar nuevos métodos y técnicas de planificación dentro del núcleo de un Sistema Operativo de Tiempo Real, a fin de mejorar la eficiencia de aquellos dispositivos de propósito dedicado controlados mediante este tipo de sistemas. Actualmente el grupo de investigación en STR cuenta con experiencia en MarteOS y FreeRTOS, entre otros.

6 Formación de Recursos Humanos

En este proyecto de investigación participan 3 (tres) docentes, dos de la UNPSJB y uno de la UNS, junto con 3 (tres) alumnos de la carrera Licenciatura en Informática de la Sede Puerto Madryn de la UNPSJB. Uno de los docentes ha obtenido una Beca Doctoral Tipo I de CONICET, de comienzo en 2012, en temas afines a este proyecto, siendo otro de los docentes del proyecto su co-director. Además, en 2010, este mismo docente obtuvo una beca anual de iniciación a la investigación de la Secretaría de Ciencia y Técnica e Innovación Productiva de la Provincia del Chubut, dirigida también por un docente del presente proyecto. Todos los alumnos participantes de este proyecto, tienen planeado enmarcar sus tesis de grado dentro de la temática de los STR.

7 Referencias

- [1] Lui Sha, Tarek Abdelzaher, Karl-Erik Arzen, Anton Cervin, Theodore Baker, Alan Burns, Giorgio C. Buttazzo, Marco Caccano, John Lehoczky, and Aloysius Ka-Lau Mok, "Real Time Scheduling Theory: A Historical Perspective," *The Journal of Real-Time Systems*, vol. 28, pp. 101-155, 2004.
- [2] Giorgio Buttazzo and Luca Abeni, "Adaptive Workload Management through Elastic Scheduling," *Real-Time Syst.*, vol. 23, pp. 7-24, 2002.
- [3] Patricia Balbastre, Ismael Ripoll, Josep Vidal, and Alfons Crespo, "A Task Model to Reduce Control Delays," *Real-Time Syst.*, vol. 27, pp. 215-236, 2004.
- [4] M. Caccamo, G. Buttazzo, and Sha Lui, "Elastic feedback control," in *Real-Time Systems, 2000. Euromicro RTS 2000. 12th Euromicro Conference on*, 2000, pp. 121-128.
- [5] G. Bernat, A. Burns, and A. Liamsi, "Weakly hard real-time systems," *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 50, pp. 308-321, 2001.
- [6] G. Bernat and Ricardo Cayssials, "Guaranteed on-line weakly-hard real-time systems," in *Real-Time Systems Symposium, 2001. (RTSS 2001). Proceedings. 22nd IEEE*, 2001, pp. 25-35.
- [7] S. K. Baruah, "A general model for recurring real-time tasks," in *Real-Time Systems Symposium, 1998. Proceedings., The 19th IEEE*, 1998, pp. 114-122.
- [8] P. Albertos, A. Crespo, I. Ripoll, M. Valles, and P. Balbastre, "RT control scheduling to reduce control performance degrading," in *Decision and Control, 2000. Proceedings of the 39th IEEE Conference on*, 2000, pp. 4889-4894 vol.4885.
- [9] A. Cervin and J. Eker, "The control server: a computational model for real-time control tasks," in *Real-Time Systems, 2003. Proceedings. 15th Euromicro Conference on*, 2003, pp. 113-120.
- [10] D. Henriksson and A. Cervin, "Optimal On-line Sampling Period Assignment for Real-Time Control Tasks Based on Plant State Information," in *Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC '05. 44th IEEE Conference on*, 2005, pp. 4469-4474.
- [11] Bjorn Wittenmark and A. Urquhart, "Adaptive extremal control," in *Decision and Control, 1995., Proceedings of the 34th IEEE Conference on*, 1995, pp. 1639-1644 vol.1632.
- [12] P. Marti, J. M. Fuertes, G. Fohler, and K. Ramamritham, "Jitter compensation for real-time control systems," in *Real-Time Systems Symposium, 2001. (RTSS 2001). Proceedings. 22nd IEEE*, 2001, pp. 39-48.