

Control en red basado en eventos: de lo centralizado a lo distribuido

María Guinaldo*, José Sánchez, Sebastián Dormido

Departamento de Informática y Automática, UNED, Juan del Rosal 16, 28040 Madrid, España

Resumen

Los sistemas de control en red (SCR) son aquellos en los que los diferentes elementos de un lazo de control (sensores, actuadores y controladores) se encuentran espacialmente distribuidos y la transmisión de información entre ellos tiene lugar a través de un canal de comunicación o red. La reducción de la cantidad de información transmitida juega un papel importante en el desempeño de estos sistemas, y reglas de comunicación no convencionales como el control basado en eventos, se han demostrado efectivas. En este artículo se revisan algunas de estas estrategias, centrándose en primer lugar en los SCR centralizados, para posteriormente estudiar esquemas de control distribuido, aplicados a sistemas de gran escala. Finalmente, algunos de los resultados teóricos se aplican al control de formaciones en un sistema de experimentación real.

Palabras Clave:

Control en red, control basado en eventos, control distribuido, sistemas de gran escala, sistemas multi-agente, control de formaciones, robots móviles.

1. Introducción

A pesar de que el mundo real es analógico, la mayoría de las aplicaciones de control se implementan en plataformas digitales que necesitan que la información en el lazo de control se intercambie de manera discreta entre los sensores, los actuadores y los controladores. Tradicionalmente, los instantes en los que este intercambio se produce son equidistantes, es decir, dados por el periodo de muestreo. La frecuencia de muestreo tiene que garantizar la estabilidad del sistema en todos los escenarios posibles, lo que a veces provoca una elección de la frecuencia conservadora. Además, todas las tareas se ejecutan de manera periódica independientemente de las necesidades de la planta.

Recientemente, ha habido un interés creciente en la idea de tener en cuenta el estado de la planta a la hora de decidir cuándo se ejecuta el control o se muestrea el sistema. En los sistemas de control basados en eventos, dichas tareas tienen lugar cuando se viola una cierta condición sobre el estado de la planta. Por tanto, hay una adaptación a las necesidades del proceso.

No hay una terminología uniforme a la hora de referirse a este concepto. Se pueden encontrar en la literatura distintas acepciones como control basado en eventos, control disparado por eventos, control *send-on-delta*, control por cruce de ni-

vel, control autodisparado o *self-triggered*, control con mínima atención, control con atención en cualquier momento, entre otras.

A pesar de su reciente popularización, el muestreo basado en eventos no es en realidad una idea nueva. Sus orígenes se remontan a finales de los años 50 cuando Ellis (1959) planteaba que el método de muestreo más apropiado consiste en transmitir solamente datos cuando existe un cambio significativo en la señal que justifique la adquisición de una nueva muestra. Más tarde, en las décadas de los 60 y los 70, se popularizó un método heurístico llamado *muestreo adaptativo*. El objetivo que persigue es reducir el número de muestras, sin que se produzca una degradación en la respuesta del sistema, evaluando en cada intervalo el periodo de muestreo (Dormido et al., 2008).

Más recientemente, en Arzén (1999) se implementa el control basado en eventos (CBE) en controladores PID mostrando que el número de acciones de control puede reducirse sin afectar al rendimiento del sistema. En Heemels et al. (1999) se utiliza el control por cruce de nivel para controlar el giro de un motor con sensores de baja resolución.

Los primeros resultados analíticos se obtuvieron para sistemas estocásticos de primer orden en Åström y Bernhardsson (2003), mostrando que bajo ciertas condiciones el CBE tiene un mejor rendimiento que el control periódico. Pero el gran impulso que ha recibido el CBE en estos últimos años tiene su motivación en la aplicación a los sistemas de control en red (SCR) o *networked control systems* (NCSs) en inglés.

* Autor en correspondencia

Correos electrónicos: mguinaldo@dia.uned.es (María Guinaldo),
jsanchez@dia.uned.es (José Sánchez), sdormido@dia.uned.es
(Sebastián Dormido)

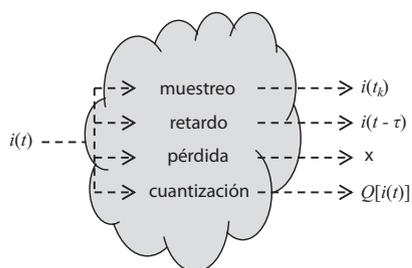


Figura 1: Los diferentes problemas que afectan a una señal $i(t)$ transmitida a través de la red.

En los SCR los diferentes elementos de un lazo de control (sensores, actuadores y controladores) se conectan a través de un medio de comunicación digital con ancho de banda limitado. El uso de redes compartidas de propósito múltiple para conectar elementos que están espacialmente distribuidos tiene varias ventajas que, por otro lado, son el principal motivo de su éxito:

- Ofrecen arquitecturas flexibles, haciendo más fácil reconfigurar partes del sistema o añadir nuevos elementos, y posibilitando la implementación de estrategias de control distribuidas.
- En general, se reducen los costes de instalación y mantenimiento, debido a la reducción del cableado que se requiere en una arquitectura punto a punto.
- Como consecuencia de ello, resulta más fácil el diagnóstico y la detección de fallos.

Los SCR han abierto también un nuevo espectro de posibles aplicaciones en el mundo real, como redes de sensores móviles (Wang et al., 2010; Zhong y Cassandras, 2011), sistemas de energía distribuidos o inteligentes o *smart grids* (Farhangi, 2010; Bolognani y Zampieri, 2011), sistemas de transporte inteligentes (Zhang et al., 2011), formación de vehículos autónomos (Millán et al., 2014), vigilancia (Basesggio et al., 2010; Kumar et al., 2015), operaciones quirúrgicas teleasistidas (Meng et al., 2004; Martini et al., 2013), entre otras.

Sin embargo, el uso de redes introduce nuevos retos y hace que el análisis y diseño de los SCR resulte más complejo. Las teorías de control convencional plantean una serie de hipótesis como la sincronización en el control, la ausencia de retardos en la medida y en la actuación y un ancho de banda ilimitado. Sin embargo, estas hipótesis han de replantearse antes de poder aplicarse a los SCR. Tratar de mejorar las redes de comunicaciones y los protocolos de red son sólo una solución parcial al problema. Por tanto, es necesario diseñar nuevos algoritmos de control con el fin de hacer frente a las imperfecciones de la comunicación y sus restricciones (Heemels, 2010), las cuales pueden resumirse en (véase la Figura 1):

- **Ancho de banda limitado:** Cualquier red puede transmitir una cantidad de información finita por unidad de tiempo, y esto puede tener graves consecuencias en los sistemas de control. En la mayoría de las redes digitales, la información es transmitida en forma de unidades atómicas

o paquetes. Dichos paquetes pueden dividirse en dos partes, el área de datos o *payload* y la cabecera, que contiene la información de control requerida para la transmisión. El máximo tamaño del área de datos depende del protocolo, y varía de los 1500 bytes en Ethernet a los 8 bytes de algunos protocolos por radio frecuencia.

- **Retardos variables en la comunicación:** La transferencia de un paquete de un nodo a otro de la red no es instantánea sino que puede suponer una cantidad variable de tiempo, que depende de condiciones variables de la red como son la congestión, la calidad del canal o el protocolo. Esto puede afectar al rendimiento del lazo de control de varias maneras. Por un lado, la información transmitida se recibe con retraso. Por otro lado, los retardos pueden suponer que el sistema sea muestreado a intervalos variables de tiempo. Un número significativo de resultados (véase Hespanha et al. (2007) y referencias de ese artículo) han tratado de caracterizar la cota superior del tiempo inter-muestreo para la cual la estabilidad del sistema está garantizada.
- **Pérdidas de paquetes:** Un paquete puede perderse por errores en la transmisión a nivel físico entre enlaces de la red, por la congestión del canal o por la corrupción de los paquetes en tránsito. En aplicaciones de control un paquete puede ser descartado si contiene información desactualizada, es decir, debido al desorden en la recepción de paquetes. Por tanto, esta cuestión ha de tenerse en cuenta en el control de flujo del tráfico de paquetes, normalmente a través de una marca de tiempo o *time stamp*.
- **Cuantización:** Un cuantizador es una función que transforma una función real en una función a tramos con un número finito de valores constantes. Aunque no se trata de un problema propio de los SCR sino de los sistemas de discretización, el tamaño finito de los paquetes puede introducir errores en las señales transmitidas al tener que reducir adicionalmente la longitud de los datos.

Estas imperfecciones son más severas en las redes inalámbricas, donde, además, hay que tener en cuenta el consumo energético, ya que muchos dispositivos están alimentados por baterías.

Dentro de las estrategias que pueden utilizarse para hacer frente a estos problemas, distinguimos dos líneas principales, las cuales no son incompatibles. Por un lado, los SCR pueden modelarse como sistemas de control en red convencionales con ciertas restricciones en la comunicación. Normalmente esto supone el re-diseño de técnicas convencionales que, además, pueden desembocar en diseños conservadores (Zhao et al., 2009). Por otro lado, puede abordarse el problema a través del *codiseño* del controlador y el protocolo o la política de comunicación. En este sentido, el control basado en eventos juega un papel importante.

En lo que respecta a la línea relativa al análisis y síntesis de controladores en red, caben destacar las siguientes soluciones:

- **Adaptar soluciones de sistemas con retardo a SCR:** Aunque el retardo inducido en un sistema en red tiene una na-

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050551>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050551>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)