

## Tecnología

Alejandro Alonso, Juan A. de la Puente  
 ETSI de Telecomunicación, Universidad Politécnica  
 de Madrid

<{aalonso, jpunte}@dit.upm.es>

**Resumen:** *el propósito de este artículo es intentar explorar el futuro de los sistemas de tiempo real durante los próximos 25 años. Aunque hacer prospectiva siempre es difícil, en el caso de los sistemas de tiempo real se pueden observar algunas tendencias que sin duda tendrán un gran impacto en el futuro próximo.*

## 1. Sistemas empotrados

En primer lugar, resulta significativo el hecho de que cada vez es mayor el número y la variedad de sistemas de tiempo real que toman la forma de **sistemas empotrados** en todo tipo de sistemas de ingeniería y de consumo. El abaratamiento del hardware ha hecho posible la extensión de los sistemas de tiempo real empotrados, que hasta hace poco se limitaban a sistemas de alto coste y alta tecnología, a los productos de uso cotidiano. Así, los sistemas de tiempo real ya no se encuentran únicamente en sistemas de control de aviones o cohetes, control de fábricas o sistemas de telecomunicación complejos, sino que también forman parte, a menudo invisible, de productos como teléfonos móviles, reproductores de discos DVD, televisores e incluso afeitadoras o aspiradoras. Varios estudios de mercado estiman en unos 5 millardos de dólares el mercado de los sistemas empotrados para el año 2001, con una tendencia creciente. Otros estudios cifran el mercado de sistemas empotrados conectados a Internet en el año 2005 en unos 6,5 millardos de dólares. Los mercados con una tendencia al alza más significativa, según estos mismos estudios, son los de consumo doméstico y telecomunicaciones avanzadas. Es de suponer que esta tendencia continuará durante los próximos 25 años, y que los sistemas empotrados de tiempo real serán cada vez más comunes y permitirán construir sistemas cada vez más autónomos.

Por otro lado, todo hace pensar que en los sistemas del futuro convergerán una serie de tecnologías, cuya evolución hay que tener en cuenta si queremos tener al menos un atisbo de cuáles serán sus características más importantes. Algunos de estos campos son:

### Comunicaciones

Los medios de comunicación para sistemas de tiempo real tienen que cumplir un requisito fundamental: es necesario poder predecir la duración máxima del tiempo de transmisión de los mensajes. Esta necesidad sólo se ha manifestado recientemente y ha dado lugar a la aparición en los últimos años de protocolos de comunicación con tiempo de transmisión determinista. Aunque el motivo principal de estos desarrollos ha sido la necesidad de implementar sistemas de tiempo real distribuidos en la industria del automóvil, se ha extendido rápidamente a otros campos de aplicación. Es de esperar que esta tendencia continúe y que en un futuro próximo se generalicen los protocolos de

## Sistemas de Tiempo Real: previsiones para los próximos 25 años

comunicación con comportamiento temporal previsible, junto un mayor ancho de banda y tolerancia de fallos. El desarrollo de protocolos de comunicación por radio, además, facilitará previsiblemente el desarrollo de sistemas empotrados portátiles.

### Ingeniería de software

El abaratamiento del hardware y el incremento de la densidad de integración facilita la realización de sistemas de tiempo real cada vez más complejos. Es de prever que esta tendencia continúe en el futuro próximo, lo que hace necesario disponer de métodos y herramientas adecuados para desarrollar sistemas de tiempo real complejos, teniendo en cuenta además que la dificultad de desarrollar este tipo de sistemas es mayor que en el caso de sistemas convencionales. Esto se debe a que hay que considerar los requisitos temporales y fiabilidad, ya que los fallos en estos sistemas pueden causar cuantiosos daños materiales, e incluso en ocasiones la pérdida de vidas humanas.

Por este motivo resulta preocupante la visión, ingenua pero frecuente, de que el desarrollo de sistemas empotrados se simplifica utilizando sin más los métodos de desarrollo de software que han dado buenos resultados en otros campos de aplicación, o que hacer sistemas de tiempo real consiste únicamente en hacer sistemas más rápidos o más eficientes.

Para poder desarrollar este tipo de sistemas de forma que satisfagan los requisitos de determinismo temporal y fiabilidad que les son inherentes manteniendo unos costes razonables, es absolutamente necesario disponer de técnicas de ingeniería de software más avanzadas. En este sentido se dispone un buen bagaje de técnicas de diseño y análisis desarrolladas en su mayor parte en los últimos diez años, que se pueden utilizar de manera efectiva para conseguir estos objetivos. No obstante resulta preocupante el hecho de que en algunos desarrollos recientes de lenguajes de programación o de sistemas operativos se hayan ignorado casi complemente los avances tecnológicos realizados en este campo en los últimos años. Basta pensar en el tratamiento de la concurrencia en Java o en los mecanismos de planificación de Windows CE para darse cuenta de que herramientas tan populares presentan problemas serios para la realización de los sistemas de tiempo real de los próximos años, precisamente por ignorar el estado actual de la tecnología y sus previsible desarrollos futuros.

### Inteligencia artificial

La complejidad de las aplicaciones de sistemas de tiempo real del futuro hace pensar que será necesario emplear técnicas de inteligencia artificial para adaptar su comportamiento a los cambios del entorno, aprender y emplear técnicas de toma de decisiones, y para aumentar su autonomía y prestaciones. Estas técnicas ya se utilizan en muchos

tipos de sistemas informáticos, pero la satisfacción de requisitos temporales presenta dificultades adicionales que no siempre se sabe resolver de manera adecuada. El desarrollo de técnicas que permitan compatibilizar los métodos de la inteligencia artificial con un comportamiento temporal previsible dará todavía trabajo a la próxima generación de investigadores.

### Sistemas distribuidos

Es previsible que la mayoría de los sistemas de tiempo real del futuro serán distribuidos. La necesidad de utilizar diversos computadores estará motivada por la necesidad de disponer de una gran potencia de cómputo, por la distribución física de estos sistemas y por la necesidad de hacer que toleren una mayor cantidad y variedad de fallos. Problemas como la sincronización de los relojes de los diversos procesadores, el determinismo temporal y la distribución dinámica de la carga son algunos aspectos que deberán ser solucionados de forma adecuada.

### Tolerancia de fallos

La necesidad de disponer de sistemas fiables y que puedan funcionar de manera continua es cada vez más frecuente, y es previsible que se acrecienta en el futuro próximo. Para tal fin, las técnicas de tolerancia de fallos, tanto de hardware como de software, deberán tener en cuenta los requisitos temporales, de forma que la recuperación y el tratamiento de los fallos de hardware o de software no impliquen una degradación inadmisiblemente del comportamiento temporal del sistema.

## 2. Aplicaciones de los Sistemas de Tiempo Real dentro de 25 años

La previsión consiste en que los sistemas de tiempo real serán una tecnología de base para desarrollar sistemas de control empotrados con una serie de características comunes. Serán autónomos, en el sentido que tendrán prefijadas sus funciones y las realizarán sin intervención humana directa. Para ser capaces de realizar estas funciones, será imprescindible disponer de sistemas sensoriales avanzados que les permitan conocer el estado de los elementos del entorno, según sea necesario. Dispondrán de capacidades de comunicación inalámbricas, lo que les permitirá comunicarse con los humanos, entre ellos y con centros avanzados de control. Tendrán capacidades de aprendizaje y de adaptación a entornos cambiantes.

Los dispositivos generales descritos tendrán una aplicación específica en distintos campos, que se analizan a continuación con algo más de detalle.

### Transporte

Uno de los campos de aplicación más importantes de los sistemas de tiempo real ha sido tradicionalmente el control de los medios de transporte, como aviones, trenes, etc. Una de las tendencias más interesantes en relación con este tipo de sistemas es la de conseguir un funcionamiento autónomo de los mismos. Esto ya se ha conseguido en algunos trenes con recorridos sencillos y velocidad limitada, como los que circulan algunos aeropuertos o en algunas líneas de metro. Obviamente, la complejidad es mayor en el caso de otros

medios de transporte como los aviones, trenes o automóviles. Los avances que se están produciendo en sistemas de navegación, sensores e inteligencia artificial permiten esperar un progreso notable en aplicaciones como el despegue, aterrizaje y navegación de aviones, o en el funcionamiento automático de los sistemas de control y circulación de trenes. En cuanto a los automóviles, en la actualidad se están investigando métodos de navegación que permitan conseguir formas limitadas de conducción automática en autopistas. Para lograr este comportamiento, los sistemas empotrados en los coches deberán disponer de sensores inteligentes y muy eficaces para detectar cualquier desviación del sistema, con objeto de corregirla a tiempo. Los vehículos estarán interconectados entre sí y con centros de control. Esto permitirá avisar con tiempo de maniobras y adaptar el comportamiento de los vehículos a las circunstancias del tráfico.

### Fabricación automática

La utilización de las tecnologías descritas en la industria permite esperar el desarrollo de fábricas automáticas. Un conjunto de robots y máquinas especiales se encargarán de fabricar los productos con mínima intervención de operadores. La capacidad de adaptación y reconfiguración de estos componentes podría permitir cambiar las características del producto fabricado en un tiempo muy reducido. De esta manera aumentará la flexibilidad de estas instalaciones y será posible el desarrollo de productos a la carta.

Los componentes de una fábrica podrían estar conectados a los centros de planificación mundiales de la compañía, lo que permitiría ajustar la cantidad y el tipo de productos a fabricar.

### Aplicaciones domésticas

La configuración de nuestros hogares es previsible que cambie en este lapso de tiempo. Actualmente se trabaja en redes de comunicación para el hogar, con el objetivo de interconectar los dispositivos. En algunos casos, esta meta se puede conseguir en un periodo de tiempo pequeño. No parece descabellado pensar en la conexión de cámaras de seguridad o de vigilancia del cuarto de los niños que se conectan a una red de área local y que nos permita desde el televisor digital observar lo que captan. De la misma manera, parece factible interconectar todos los elementos de la casa, de forma que se nos muestre un mensaje de aviso en la televisión cuando termine la lavadora o cuando el frigorífico solicite la revisión de las 1.000 horas. La aplicación de robots autónomos en el hogar podría resultar en obviar toda esa serie de labores tediosas y necesarias que hay que realizar a diario en cualquier hogar y que siempre nos hace pensar en lo mucho más interesante que sería estar haciendo otras cosas.

## 3. Conclusión

Teniendo en cuenta la velocidad con que los avances tecnológicos han cambiado nuestras vidas durante los últimos años, es difícil predecir cómo será este cambio durante los próximos 25 años. En este artículo hemos intentado dar una pequeña idea, pero es muy probable que o nos quedemos cortos o que futuras innovaciones tecnológicas cambien radicalmente este panorama.