

Consideraciones de diseño para robots miniaturizados

Fecha de recepción: 19/07/2010

Fecha de aceptación: 20/07/2010

Paola Vega Castillo¹
Marta Vílchez Monge²
Milton Villegas Lemus³
Pablo Alvarado Moya⁴

Palabras clave

Arquitectura, robots miniaturizados, sistemas microelectromecánicos.

Key words

Architecture, miniaturized robots, microelectromechanical systems.

Resumen

En este artículo se presenta un resumen de las principales consideraciones para el diseño de robots miniaturizados, desde el punto de vista de su arquitectura. La definición de la arquitectura de un minirobot se discute desde los aspectos funcional, físico y comportamental; este último incluye la arquitectura de *software*. Se discuten, también, aspectos claves de la implementación de la arquitectura funcional y física que pueden definir la factibilidad de miniaturizar un robot, entre estos: el consumo de potencia, el sistema de comunicación y la fuente de energía del robot. Se contemplan, también, las consideraciones de diseño para los actuadores microelectromecánicos.

Abstract

This article presents an overview of the main considerations for the design of miniaturized robots, from the architectural point of view. The definition of the architecture of a miniaturized robot is discussed considering its functional, physical and behavioural domains. Key considerations on the implementation of the functional and physical architecture are exposed, which may define the feasibility of miniaturizing a robot, such as power consumption, the communication system, the robot's energy source. Considerations on the design of microelectromechanical actuators are also discussed.

1. Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correos electrónicos: pvega@itcr.ac.cr; / pvega@ietec.org
2. Escuela de Física, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: mvilchez@itcr.ac.cr
3. Escuela de Ingeniería en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correo electrónico: mvilem@itcr.ac.cr
4. Escuela de Ingeniería Electrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Correos electrónicos: palvarado@itcr.ac.cr, y palvarado@ietec.org

El concepto de arquitectura de un robot

En general, el término *arquitectura* se refiere a la identificación de los componentes que conforman un sistema, así como las interrelaciones existentes entre estos componentes. Dentro de un proyecto de robótica, los componentes pueden identificarse desde diferentes dominios: físico, funcional y comportamental, como se ilustra en la figura 1.

Al determinar la arquitectura del robot en los dominios funcional, físico y comportamental, se obtiene una propuesta de implementación en términos de bloques, identificando sus funciones, la especificación de entradas y salidas, tamaño, consumo de potencia máximo y organización espacial en el robot. Este último aspecto es la base para la definición de especificaciones para el diseño de los actuadores del robot.

Arquitectura en el dominio funcional

La arquitectura funcional consiste en la definición de los bloques funcionales

necesarios para llevar a cabo las funciones del robot, es decir, la identificación de los elementos electrónicos y electromecánicos necesarios para la implementación del robot en términos de las tareas que dichos elementos realizan.

Así, esta arquitectura identifica los componentes funcionales del robot y sus interrelaciones y desarrolla la estructura de la funcionalidad asignada a los componentes mecánicos, donde, posiblemente, un componente mecánico corresponda a varios modelos funcionales, o una funcionalidad deba ser realizada por medio de varios módulos físicos. La figura 2 muestra el diagrama de bloques básico para la arquitectura funcional de un robot.

El grado de inteligencia y la cantidad de dispositivos periféricos, así como la complejidad de los cálculos u operaciones por realizar, determinan la arquitectura del sistema electrónico por utilizar. Para aplicaciones del robot que deban incluir comunicación y control simple, pero también flexibilidad de programación y memoria de datos y programa, la captura, almacenamiento e interpretación de

Al determinar la arquitectura del robot en los dominios funcional, físico y comportamental, se obtiene una propuesta de implementación en términos de bloques, identificando sus funciones, la especificación de entradas y salidas, tamaño, consumo de potencia máximo y organización espacial en el robot.

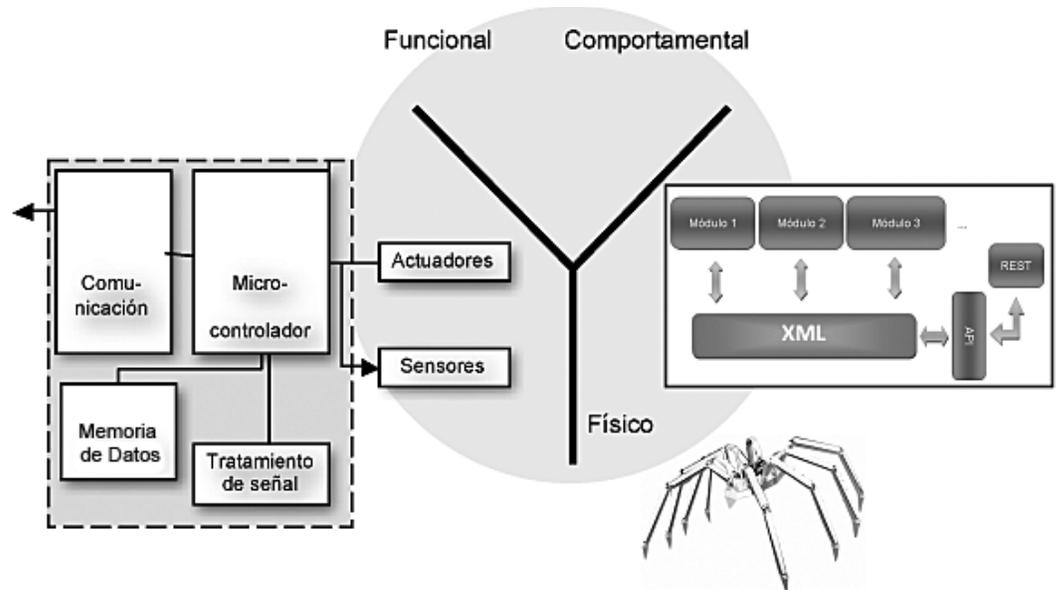


Figura 1. Dominios arquitecturales de un robot

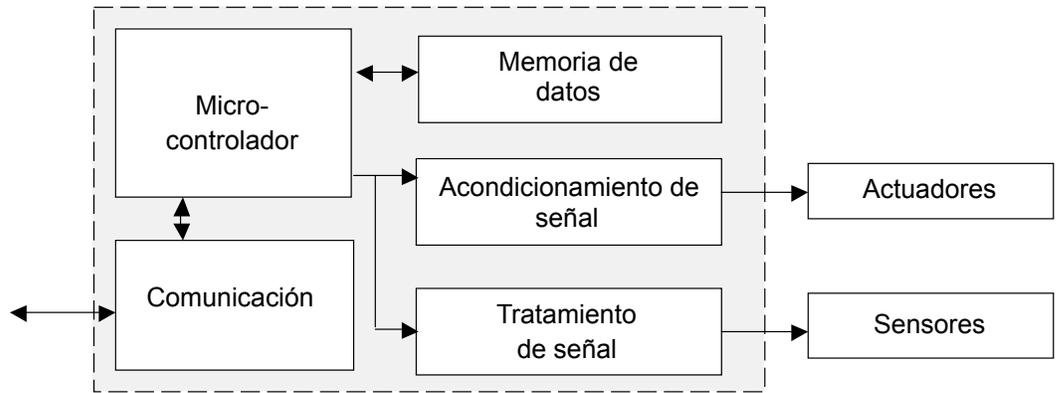


Figura 2.

En general, para reducir el consumo de potencia de un sistema electrónico debe utilizarse la tensión de alimentación más baja posible, esta es la variable de mayor impacto en el consumo de potencia dinámico, pues este componente es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación.

señales de sensores, un microcontrolador es la alternativa más viable en términos de costo, grado de sofisticación y flexibilidad. El uso de un microcontrolador y su memoria de programa otorgan flexibilidad en la programación del robot; dicha flexibilidad permite configurarlo para las diferentes aplicaciones y da la posibilidad de incluir, progresivamente, inteligencia en el robot.

La elección del microcontrolador también está condicionada a otras funciones, como el ajuste de la frecuencia de operación, la existencia de una unidad de manejo de potencia (power management unit) y cantidad de memoria RAM y EEPROM requerida para la aplicación.

El ajuste de la frecuencia de operación permite bajar el consumo de potencia dinámica, ajustándolo a la situación particular del robot. Para funciones de alta velocidad puede aumentarse la frecuencia, y para funciones más lentas puede disminuirse. Esto reduce el consumo de potencia en las funciones lentas, el calentamiento, y aumenta el tiempo en el cual puede utilizarse la energía almacenada, o aminorando la demanda de energía de un sistema de alimentación permanente. Asimismo, ajusta la frecuencia de operación a las necesidades específicas de los actuadores

requeridos para aplicaciones particulares del robot.

Igualmente, una unidad de manejo de potencia mantiene un bajo consumo de potencia en el microcontrolador y pone el microcontrolador en estado inactivo cuando el robot no opera; por ejemplo, en situaciones de espera. Esta característica es de gran importancia ya que la energía es un factor crítico para la miniaturización de robots e, incluso, el volumen requerido para el almacenamiento y la obtención de energía puede convertirse en la limitante que impida lograr las metas de tamaño de un robot.

En general, para reducir el consumo de potencia de un sistema electrónico debe utilizarse la tensión de alimentación más baja posible, esta es la variable de mayor impacto en el consumo de potencia dinámico, pues este componente es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación. Sin embargo, la escogencia del valor de la tensión de alimentación está limitada por dos factores:

- La tensión mínima de operación requerida por los actuadores y sensores.
- El rango de tensiones necesario para la operación de las etapas analógicas de adquisición y amplificación de señal de los sensores.

Aunque un microcontrolador puede operar a tensiones tan bajas como 1,2 V, al igual que en las etapas digitales de tratamiento de señal. Sin embargo, las etapas analógicas trabajan mejor a tensiones de alimentación de 2 V y superiores. Para circuitos personalizados, la tensión de alimentación determina, también, el costo de la fabricación, dado que las tecnologías avanzadas operan con tensiones menores, pero son mucho más costosas.

Por otra parte, una tensión de alimentación de 3 V está dentro del límite inferior requerido para la mayoría de los actuadores. Esto significa que al menos los puertos de salida del microcontrolador deben proveer una tensión de salida de 3 V. De lo contrario, se requerirían circuitos acondicionadores de señal adicionales, los cuales deben fabricarse de forma personalizada y, posteriormente, deben ser conectados al microcontrolador, integrándolos directamente en el mismo dado de silicio, como un SoP (*System on Package*) o con componentes discretos.

En el primer caso, se incrementa el costo de fabricación, dado que se requiere una fabricación personalizada del circuito integrado. El segundo caso representa un compromiso entre costo y volumen; mientras que el uso de componentes discretos, aunque es una opción a muy bajo costo, tiene como consecuencia un aumento muy significativo del tamaño del robot.

De esta forma, el límite superior de 3V para la tensión de alimentación es la mejor opción para lograr un compromiso entre consumo de potencia y operabilidad de los actuadores y las etapas analógicas del robot. Aunque otras opciones de actuación, tales como la térmica, requieren de muy bajas tensiones de operación, su consumo de potencia es mucho mayor; por lo tanto, esta es una opción poco atractiva para lograr un robot autónomo miniaturizado, al aumentar el volumen de almacenamiento de energía y el área para la captura de energía.

Otro factor importante por considerar en la arquitectura funcional es la comunicación del robot.

La autonomía del robot implica que la comunicación debe ser inalámbrica; la inducción magnética es el método más común para la alimentación inalámbrica de dispositivos electrónicos, generalmente, por radiofrecuencia. No obstante, el tamaño y consumo de potencia de los sistemas de radiofrecuencia hacen difícil su aplicación en minirobots. Además, en aplicaciones biomédicas y de microcirugía existen restricciones aún en la energía y frecuencia de transmisión, donde se definen magnitudes límites para campos eléctricos y magnéticos catalogadas como seguras para el ser humano, así como valores de potencia y frecuencia de transmisión que no interfieran con otros dispositivos médicos en ambientes hospitalarios.

Para otros ambientes de operación, una limitación adicional del uso de inducción electromagnética y radiofrecuencia es el tamaño de las antenas que deben integrarse en el robot. Típicamente, las antenas requeridas son del tamaño de centímetros cuadrados. La reducción del tamaño de la antena requiere un aumento en la frecuencia de operación, por lo que la operación de los circuitos de rectificación y tratamiento de señal consumirían una gran cantidad de energía. Además, el aumento en la frecuencia empeoraría el efecto de las capacitancias parásitas en las antenas integradas.

Otra opción para implementar la comunicación inalámbrica en el robot es utilizando medios ópticos. La comunicación infrarroja evita la interferencia magnética; también se puede implementar un sistema de comunicación utilizando dispositivos pequeños, de fácil ensamble, en el robot. La distancia de transmisión del robot está determinada por el consumo de potencia necesario y el tiempo durante el cual se requiere la transmisión, dado que reduce el tiempo de carga de la batería. Puesto que la recepción infrarroja utiliza

En el primer caso, se incrementa el costo de fabricación, dado que se requiere una fabricación personalizada del circuito integrado.

menos energía que la transmisión, facilita la implementación de la comunicación, al menos unidireccional, para transmitir comandos e información al robot.

Arquitectura en el dominio físico

La arquitectura física del sistema consiste en las especificaciones de tamaño, la organización de los bloques en el volumen asignado, la elección de materiales, el principio de funcionamiento y el diseño de los componentes físicos, tomando en cuenta los aspectos mecánicos del robot y las interrelaciones mecánicas de esos componentes. Para las especificaciones de los bloques, deben tomarse en cuenta las funciones, las señales de control, el tamaño, el consumo de potencia máximo y la organización espacial en el robot.

Para definir la arquitectura física de un robot, debe tomarse en cuenta que el ambiente de operación impuesto por la aplicación del robot restringe o impide la utilización de ciertos fenómenos físicos para los mecanismos de actuación, así como la captura y el almacenamiento de energía.

La arquitectura física del robot permite identificar los sistemas microelectromecánicos necesarios para lograr las funciones deseadas. Entre los parámetros típicos de diseño de sistemas microelectromecánicos, se incluyen fuerzas, desplazamientos, potencia, eficiencia, linealidad y ancho de banda. También, es de gran importancia considerar el costo de fabricación de los microactuadores y la viabilidad de su microfabricación con los procesos disponibles.

Otro factor importante en la escogencia de los mecanismos de actuación es que, en la medida de lo posible, los actuadores puedan ser manejados directamente por los circuitos de salida del microcontrolador, para disminuir el tamaño requerido por el sistema microelectrónico del robot. Por ejemplo, esto es posible en el caso de los

actuadores piezoeléctricos, pero no en el térmico, por lo cual se requiere de un transistor bipolar conectado a la salida de los pines del microcontrolador.

Otro aspecto de crítico para la arquitectura física de un minirobot es la obtención y el almacenamiento de energía. La autonomía del robot implica que la energía debería suplirse de forma inalámbrica. Normalmente, la transmisión inalámbrica de energía para dispositivos electrónicos se lleva a cabo por inducción. Sin embargo, el tamaño y consumo de potencia de los sistemas de radiofrecuencia hacen difícil la alimentación de un minirobot. Al igual que en el caso de la comunicación por inducción, deben contemplarse, además, las magnitudes límites para campos eléctricos y magnéticos definidas como seguras para el ser humano y que permitirán operar sin interferir con otros dispositivos médicos personales u hospitalarios.

Para algunas aplicaciones, la energía solar podría no estar disponible, y la obtención de energía fotovoltaica de una fuente omnidireccional no es posible en las condiciones de operación del robot, pues la radiación lumínica incidente deslocalizada podría alterar una muestra o las mediciones. Por otra parte, actualmente, las celdas fotovoltaicas tienen una muy baja eficiencia, ronda típicamente el 12%.

Existen otros conceptos de celdas en desarrollo que permitirían llegar al 30 o 40%, tales como las celdas multiespectrales; sin embargo, aún no se encuentran disponibles en el comercio. Así, la potencia entregada por las celdas fotovoltaicas expuestas a luz ambiental intensa es del rango de los cientos de μW , con aproximadamente 1mW como frontera superior. Sin embargo, el área requerida por las fotoceldas podría ser la limitante para la miniaturización de robot, además de agregar un peso significativo al sistema de locomoción, aumentando su consumo de energía.

Para algunas aplicaciones, la energía solar podría no estar disponible, y la obtención de energía fotovoltaica de una fuente omnidireccional no es posible en las condiciones de operación del robot, pues la radiación lumínica incidente deslocalizada podría alterar una muestra o las mediciones.

La obtención de energía puede complementarse con su almacenamiento. La limitación de las baterías de capas delgadas estriba en su restringida capacidad de almacenamiento de energía, debido al poco volumen que es posible ocupar en el robot, así como el peso que agregan. La carga de baterías comerciales de capas delgadas ronda los uAh, y su potencia máxima está en el rango de los μ W. De esta forma, debe considerarse la tensión de salida disponible en la batería para condiciones de consumo máximo, la corriente máxima requerida por el robot y el tiempo durante el cual puede suplirse esta energía.

En caso de que una aplicación permita la transmisión de energía utilizando cables, las tensiones de actuación pueden aumentarse y ajustarse a cada actuador individual, y las tensiones de alimentación de los bloques electrónicos podrían variarse según la función del bloque. Contar con una fuente constante de energía, permitiría cumplir con la demanda energética del robot, aun sin optimizar el consumo de energía. La limitante en este caso sería el calor generado por la potencia total disipada por el robot, donde es importante eliminar puntos de temperatura extrema (*hot spots*).

Desde el punto de vista mecánico, el diseño de robots miniaturizados enfrenta un compromiso entre movilidad y tamaño. La incorporación de un mayor número de grados de libertad trae un aumento de volumen, consumo de potencia, tensión y corriente de actuación, velocidad de respuesta, frecuencia de operación y complejidad. Para cada aplicación debe determinarse el grado de movimiento que estrictamente deben tener los actuadores, así como la precisión requerida, pues hay un compromiso entre rango de acción y precisión. También deben tomarse en cuenta los efectos de escala y el efecto de las fuerzas gravitacionales de van der Waals y de adhesión, esta última empieza a predominar sobre la fuerza gravitacional

para objetos con dimensiones menores que los 50 μ m.

El diseño de microactuadores requiere de un estudio multifísico que abarque los aspectos eléctricos, térmicos y estructurales del microactuador, incluyendo estudios de fatiga, eficiencia energética del actuador, consumo de energía y relación entre energía mecánica del actuador y energía eléctrica aplicada. Desde el punto de vista de su funcionalidad, el estudio permite obtener un balance entre precisión y rangos de operación.

Dependiendo de la aplicación, puede ampliarse el rango y disminuir la precisión, o disminuir el rango y aumentar la precisión. Deben considerarse, además, desde el punto de vista de la microfabricación, el costo y el equipo disponible para litografía, deposición y decapado, el acceso a tecnologías de fabricación de circuitos integrados, un cuarto limpio, equipo de litografía micrométrica, equipo de deposición química gaseosa y decapado reactivo por plasma, o bien las tecnologías de fabricación disponibles comercialmente por medio de afiliación a consorcios de fabricación. En este caso, debe adaptarse el diseño del robot a las características de los procesos y materiales disponibles.

Los actuadores piezoeléctricos y los polímeros electroactivos funcionales en ambientes secos son la alternativa más viable para la implementación de microactuadores para minirobots, dado su bajo voltaje de actuación, bajo consumo de potencia, simplicidad de control, tiempo de respuesta y la posibilidad de aumentar la cantidad de capas electroactivas del microactuador para aumentar la deformación de este.

Por otra parte, el diseño de mecanismos de sujeción implica un entendimiento del escalamiento de fuerzas, debido a que las fuerzas de adhesión escalan a menor ritmo que las fuerzas inerciales. Esto tiene como consecuencia que conforme se reduce el

El diseño de microactuadores requiere de un estudio multifísico que abarque los aspectos eléctricos, térmicos y estructurales del microactuador, incluyendo estudios de fatiga, eficiencia energética del actuador, consumo de energía y relación entre energía mecánica del actuador y energía eléctrica aplicada.

Conceptos de locomoción basados en la inercia del robot podrían no ser aplicables, al disminuir las dimensiones y el peso del robot, o al menos no podrían continuar aplicándose indefinidamente conforme continúe el escalamiento de un robot.

tamaño de una pinza, es más sencillo sujetar un objeto que soltarlo. La razón es que al disminuir el tamaño de los objetos y su volumen, la fuerza gravitacional ejercida sobre este es menor. Sin embargo, las fuerzas de adhesión dependen del área superficial del objeto. El escalamiento implica tener un área superficial relativamente grande en comparación con el volumen del objeto.

Un aspecto vital para el diseño de un robot miniaturizado es la locomoción. Conceptos de locomoción basados en la inercia del robot podrían no ser aplicables, al disminuir las dimensiones y el peso del robot, o al menos no podrían continuar aplicándose indefinidamente conforme continúe el escalamiento de un robot. Por otra parte, la escogencia de materiales es clave, desde el punto de vista de sus propiedades, como del costo de la implementación. Por ejemplo, la independencia de la tecnología de silicio puede disminuir los costos de fabricación, tanto por el costo de los materiales, como por el ahorro de la producción de máscaras personalizadas y la fabricación o su subcontratación.

El movimiento autónomo del robot en largas distancias, es decir, varios órdenes de magnitud mayores que la longitud del robot, significa un alto consumo de potencia y serias limitaciones en el desplazamiento. Si se considera el uso de un sistema de almacenamiento de energía, aumentando el volumen de almacenamiento, el robot podría requerir más de una carga de energía para desplazarse, dependiendo de la trayectoria que deba seguir para posicionarse en los puntos de interés.

El movimiento del robot involucra la distancia por recorrer y la precisión de posicionamiento en la región a caracterizar. Esto se logra con pequeños tamaños de paso. Sin embargo, para distancias largas, el robot requeriría, entonces, una gran cantidad de pasos para llegar al punto de interés; en consecuencia, su desplazamiento

sería lento y consumiría gran cantidad de energía. Por otra parte, implementar pasos más grandes disminuiría su precisión.

Una posibilidad para mitigar este problema es la implementación de modos de locomoción de paso pequeño y paso grande, si los actuadores lo permiten. De otra forma, podría ponerse en marcha un sistema de posicionamiento grueso independiente y complementario al robot, de forma que lo desplace rápidamente, con pasos grandes, sin que este utilice su propia locomoción, con lo que se reduce el tiempo de desplazamiento y no se utiliza la energía propia del robot. Al acercarlo al área aproximada de prueba, utilizando un sistema de posicionamiento, la energía del robot puede usarse para otras funciones. Posteriormente, su locomoción autónoma se utilizaría para ubicar con precisión el punto de interés, utilizando pasos más pequeños.

Arquitectura en el dominio comportamental

La arquitectura de comportamiento estructural describe las respuestas y reacciones del robot en su entorno. En esta arquitectura se especifican los niveles de procesamiento de tareas para lograr comportamientos específicos. Para la elección de una arquitectura comportamental, deben considerarse los siguientes elementos [1,2]:

- La complejidad de las tareas a realizar por el robot.
- El grado de interacción con el ambiente requerido por el robot.
- El grado de dinamismo del ambiente de operación del robot.
- La robustez ante el ruido y la incertidumbre.
- La reactividad ante cambios.
- El planeamiento como mecanismo de toma de decisiones.

- El manejo de objetivos incompatibles.
- La adaptabilidad a eventos inesperados e impredecibles.

La arquitectura comportamental define, tomando en cuenta los elementos mencionados, cómo se diseña y cómo opera el robot. Tanto el ambiente de aplicación como la aplicación juegan un papel predominante en la elección de la arquitectura.

Esta arquitectura consiste en la estrategia de toma de decisiones incluye la interfaz con el usuario y la forma de reaccionar del robot ante determinados eventos. Asimismo, determina la interfaz entre *hardware* y *software*, definiendo así aspectos tales como el sistema operativo que utilizará el robot.

En la concepción de la arquitectura comportamental debe considerarse la posibilidad de implementar en el robot mecanismos de defensa rápidos, para impedir comportamientos auto destructivos o destructivos. Esta arquitectura debe considerar la concepción de un robot reactivo e inteligente y permitir, fácilmente, añadirle tareas de mayor complejidad. Aun cuando el robot inicialmente no requiera ejecutar tareas de manera recurrente, la escogencia de la arquitectura debe prever un futuro aumento en el número de tareas, su complejidad y, eventualmente,

la necesidad de procesamiento concurrente en etapas más avanzadas de implementación. La arquitectura elegida debería permitir la creación fácil de robots con comportamientos complejos, sobre la base de un robot de comportamiento básico, con lo que este podría convertirse en un diseño base para producir robots para otras aplicaciones.

Puesto que los comportamientos del robot se realizan principalmente a través de procesos de *software*, la arquitectura comportamental tiene una relación estrecha con la arquitectura del *software*; esta se define como la estructura dada a los módulos de *software* y sus interrelaciones, que especifica funciones y comportamientos ofrecidos por los módulos, así como las interfaces de uso de módulos internos al robot y de interacción con estos.

La arquitectura del *software* en el computador para el manejo del robot requiere, por su naturaleza, de módulos desarrollados para diferentes plataformas, en diferentes lenguajes. De modo que es necesaria una estrategia que permita integrar dichos módulos en la medida en que se concluye su programación.

La arquitectura del *software* se estructura en capas. La capa inferior es un módulo que soporta una gramática especificada para el lenguaje particular a nivel de máquina, y se diseña considerando los tipos de datos necesarios para describir al *hardware* y su abstracción para las capas superiores. Para compartir información entre los sistemas o módulos heterogéneos que componen la arquitectura, se propone utilizar XML [3]. Un esquema de esta primera definición puede apreciarse en figura 3.

Otro aspecto que termina de definir la arquitectura global es la especificación de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API, Application Programming Interface). Esto posibilita a los niveles inferiores ofrecer servicios para la recepción de parámetros a las capas superiores que

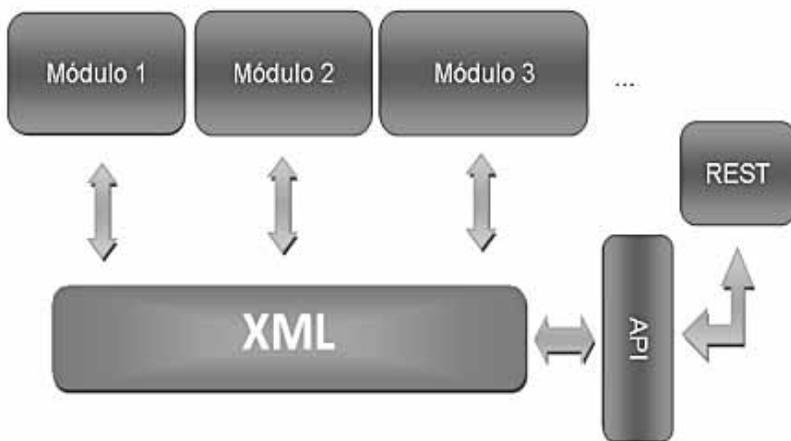


Figura 3. Sistema multiplataforma y multisistema, utilizando XML.

interactúan con el usuario. Uno de los servicios que se considera útil para este nivel es el REST [4], pues permite especificar el formato de devolución de los parámetros, ya sea texto plano, RTF o XML.

La especificación de una API proporciona la flexibilidad para ejecutar módulos en diferentes plataformas o sistemas operativos; esto permite la integración de módulos que, por disponibilidad de bibliotecas, se desarrollen en una plataforma específica diferente a la de los módulos ya existentes, como lo muestra la figura 4.

Esta interfaz da independencia al lenguaje de programación y al sistema operativo sobre el cual fue creado cada módulo individualmente. Por ejemplo, se puede establecer una comunicación entre módulos desarrollados en distintas distribuciones de GNU/Linux, incluso con diferentes kernels y versiones de los programas utilizados.

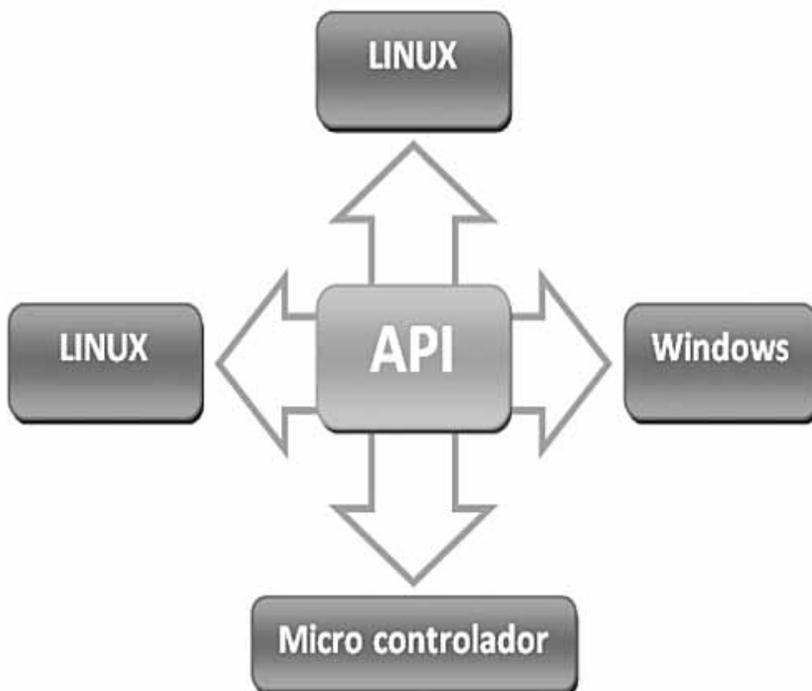


Figura 4. Comunicación de módulos desarrollados en diferentes sistemas operativos por medio de API.

También es posible la comunicación entre módulos desarrollados en lenguajes diferentes como C, Java o ensamblador. La salida de cada módulo es generada como un archivo XML estándar. El API interpreta las salidas, y con base en estas, genera un nuevo archivo XML, por medio de un servicio REST, para ser utilizado como entrada en los módulos que requieran los datos. La especificación de funciones y el esquema de comunicación entre módulos, observando un lenguaje de comunicación estándar entre ellos es parte del diseño y especificación del *software*.

Conclusión

En este artículo se describieron las consideraciones de diseño para un robot miniaturizado, considerando los tres dominios arquitecturales: físico, funcional y comportamental. Se expusieron consideraciones de *hardware*, *software*, energía, comunicación y efectos de escala en sistemas microelectromecánicos que deben tomarse en cuenta para posibilitar la miniaturización de robots.

Bibliografía

- [1] Coste-Maniere, E. y Simmons, R. "Architecture, the backbone of robotic systems". Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation. California, Abril 2000.
- [2] Decugis, V., Ferber J. "Action Selection in an Autonomous Agent with a Hierarchical Distributed Reactive Planning Architecture" Proceedings of the Second International Conference on Autonomous Agents, pp. 354 – 361. May 1998.
- [3] <http://www.w3.org/XML/>
- [4] <http://code.google.com/apis/ajaxsearch/documentation/>