

Control adaptativo de máquinas herramientas

Freddy Naranjo Pérez *

Introducción

La automatización de Máquinas Herramientas ha sido un tema central en las investigaciones en Ingeniería de Manufactura, desde la aparición, en 1952, de la primera máquina controlada numéricamente. El uso de estas máquinas se incrementó de manera considerable gracias a los desarrollos de la microelectrónica y a la necesidad de producir partes complejas para las industrias especializadas.

En una máquina de control numérico convencional, los parámetros de operación tales como la velocidad de avance de la herramienta y la velocidad de rotación del husillo, son previamente programados. Estos parámetros son escogidos empíricamente por el programador y permanecen constantes durante toda la operación de mecanizado. De esta manera, en la gran mayoría de los casos, la operación de la máquina es bastante conservativa, pues no se aprovechan al máximo sus posibilidades. Para enfrentar este y otros problemas, se han propuesto esquemas de control adaptativo, los cuales permiten que la máquina se "adapte" a los cambios en las

características del proceso, operando en condiciones "óptimas".

Actualmente, los Sistemas Flexibles de Manufactura en los cuales varias máquinas herramientas son completamente controladas por computadores, han alcanzado amplia difusión. En estos sistemas no es fácil definir previamente las condiciones de corte óptimas, debido a que en un proceso de mecanizado se presentan fenómenos complejos e impredecibles. Así, el control adaptativo se presenta como una alternativa eficiente, ya que permite ajustar automáticamente el avance y la velocidad de acuerdo con los cambios en el proceso de mecanizado.

¿Qué es control adaptativo?

El control adaptativo surge en la década de los 50's, como una alternativa para resolver problemas de control en situaciones en que las características del sistema a ser controlado son variables o poco conocidas. Sin embargo, los primeros esquemas adaptativos no eran implementables con el hardware disponible en la época y su utilización en escala industrial es relativamente reciente.

A pesar de que existe una extensa literatura sobre la materia, no es fácil encontrar una definición que reúna todo ese conjunto de

* Ingeniero Mecánico MSC
Coordinador Grupo de Automatización y Mecatrónica
Programa de Ingeniería Mecánica
Corporación Universitaria Autónoma de Occidente

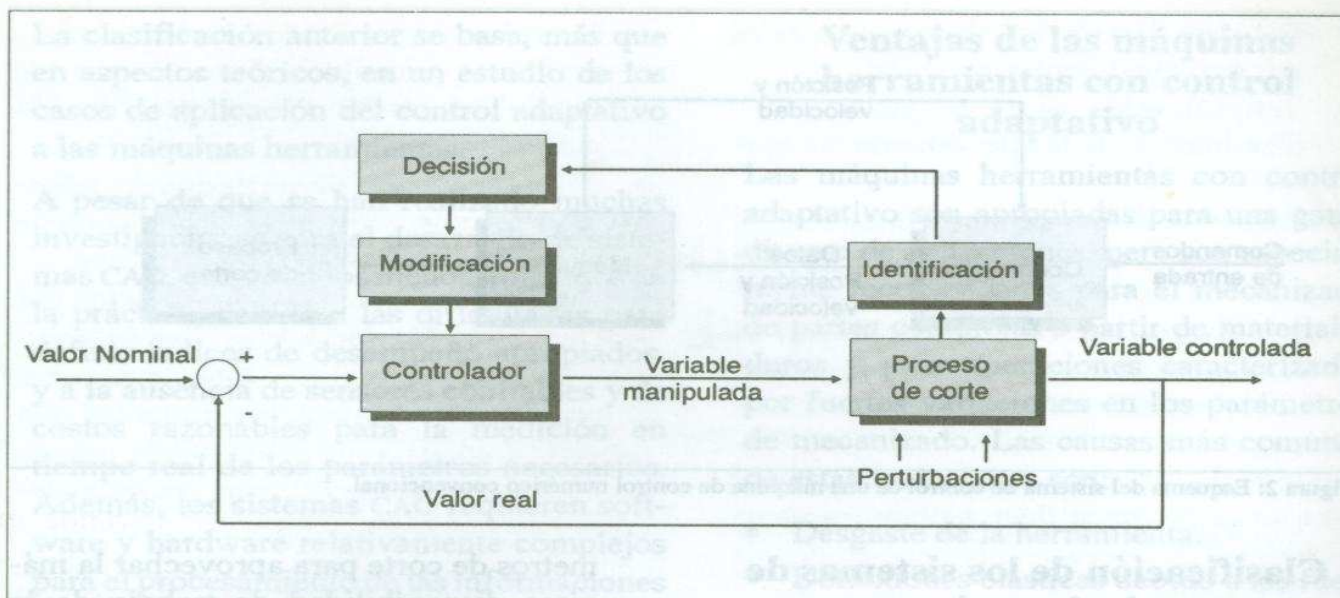


Figura 1: Esquema general de un sistema de control adaptativo

técnicas y procedimientos que constituyen lo que se conoce como control adaptativo. En términos generales, existen algunas características comunes en los diversos enfoques: un sistema de control adaptativo debe proporcionar información continua sobre el estado presente del proceso, es decir, debe *identificar* el proceso. Debe comparar el desempeño presente del sistema con el desempeño óptimo o deseado y tomar una *decisión* para adaptar el sistema, de forma que opere en las condiciones óptimas. Esto se logra mediante una *modificación* apropiada que generalmente es una variación de los parámetros de controlador (figura 1).

En el campo de las máquinas herramientas con control numérico, el control adaptativo es definido como un sistema que permite a la máquina debidamente equipada con sensores, detectar cambios en el proceso (por ejemplo, desgaste de la herramienta, variaciones en la dureza del material, etc.) y ejecutar acciones adaptativas (por ejemplo, variación de la velocidad de avance, etc). Esto implica un ciclo que comprende (a)

senzar, (b) tomar decisiones y (c) reconfigurar el programa de la máquina.

En las máquinas con control numérico convencional, la posición y la velocidad del servo-sistema son realimentadas para compensar los errores entre la referencia y la respuesta. Esta compensación es generalmente realizada con controladores tipo P o PID, cuyos parámetros son fijos. En estas máquinas, las informaciones referentes a la posición y a la velocidad son especificadas como datos de entrada y el proceso de corte no es considerado en el diseño del controlador (figura 2).

En una máquina de control numérico con control adaptativo, se adiciona un nuevo lazo que realimenta informaciones sobre las variables del proceso, tales como desgaste, variaciones en la profundidad de corte, deflexión de la herramienta, etc. (Figura 3) Esas informaciones son utilizadas para ajustar los parámetros del controlador, de manera que el sistema opere de acuerdo con los objetivos propuestos a pesar de las variaciones en la dinámica del proceso.

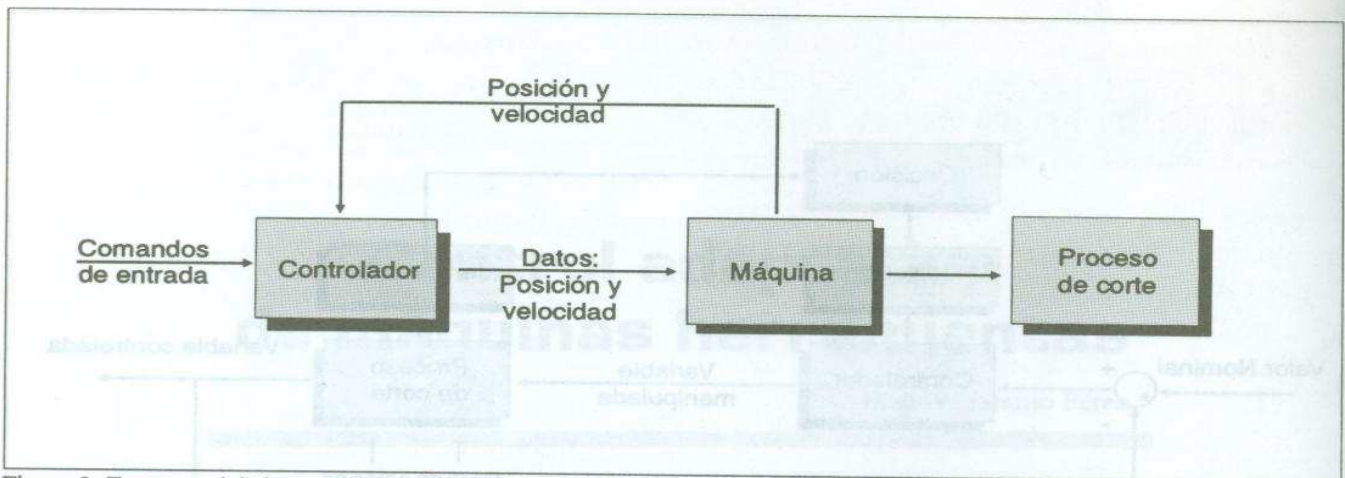


Figura 2: Esquema del sistema de control de una máquina de control numérico convencional.

Clasificación de los sistemas de control adaptativo para máquinas herramientas

El objetivo del control adaptativo en las máquinas herramientas consiste en controlar los parámetros de operación teniendo en cuenta las características del proceso, con el fin de que la máquina opere en las condiciones deseadas. Los sistemas de control adaptativo se clasifican en dos categorías, dependiendo de la naturaleza de las "condiciones deseadas":

a. Control adaptativo con restricciones (CAR). Durante la operación el controlador regula automáticamente los parámetros de corte para aprovechar la máxima disponibilidad de trabajo de la máquina o de la herramienta, teniendo en cuenta restricciones en la fuerza de corte, en la potencia en el eje, en la temperatura de la herramienta, en la precisión de la pieza y en la estabilidad del sistema.

b. Control adaptativo con optimización (CAO). Durante la operación el controlador regula los parámetros de corte para mantener optimizado un índice de desempeño -generalmente una función económica-, teniendo en cuenta las limitaciones del sistema y del proceso.

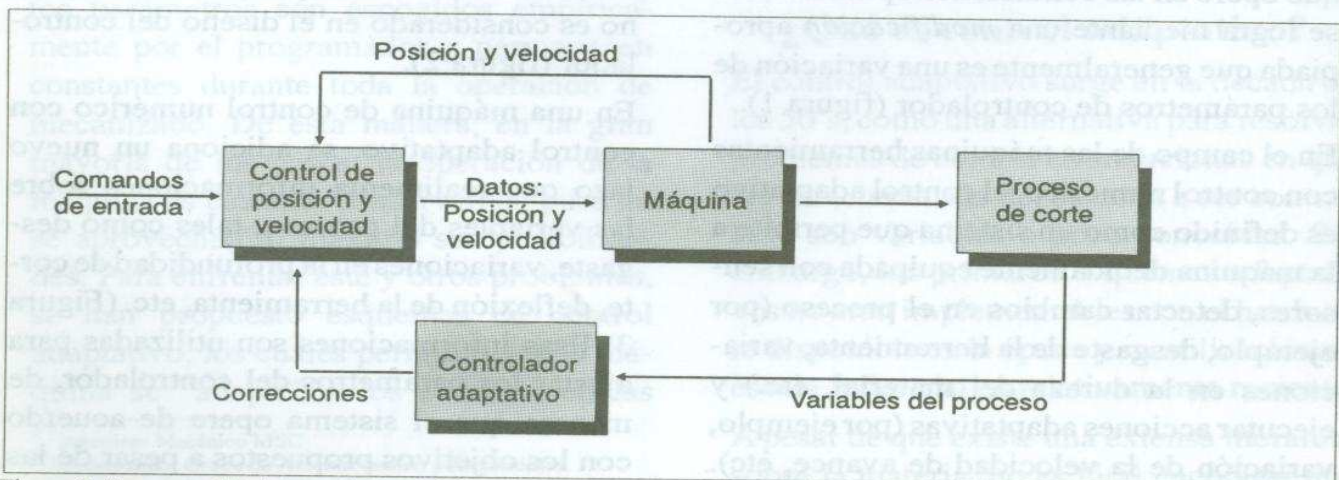


Figura 3: Esquema del sistema de control de una máquina con control numérico adaptativo.

La clasificación anterior se basa, más que en aspectos teóricos, en un estudio de los casos de aplicación del control adaptativo a las máquinas herramientas.

A pesar de que se han realizado muchas investigaciones para el desarrollo de sistemas CAO, estos son los menos utilizados en la práctica, debido a las dificultades para definir índices de desempeño apropiados, y a la ausencia de sensores confiables y de costos razonables para la medición en tiempo real de los parámetros necesarios. Además, los sistemas CAO requieren software y hardware relativamente complejos para el procesamiento de las informaciones sobre el proceso de mecanizado, así como para la decisión y el cálculo del índice de desempeño.

El objetivo del control adaptativo en las máquinas herramientas consiste en controlar los parámetros de operación teniendo en cuenta las características del proceso.

De otra parte, los sistemas CAR son simples en tecnología de control y menos costosos. La mayor parte de las máquinas herramientas con control adaptativo, usadas actualmente en la producción, utilizan sistemas CAR.

Ventajas de las máquinas herramientas con control adaptativo

Las máquinas herramientas con control adaptativo son apropiadas para una gama diversa de aplicaciones, pero son especialmente recomendadas para el mecanizado de partes complejas a partir de materiales duros y para operaciones caracterizadas por fuertes variaciones en los parámetros de mecanizado. Las causas más comunes de estas variaciones son:

- Desgaste de la herramienta.
- Deflexiones elásticas debido a las fuerzas de corte.
- Deformaciones térmicas de la máquina.
- Expansión térmica de la herramienta y de la pieza.
- Recorridos en vacío.
- Perturbaciones periódicas:
- Desbalance de los elementos rotatorios.
- Holguras en los elementos de transmisión.
- Movimientos transmitidos a través del piso.

En estas situaciones el control numérico adaptativo presenta las siguientes ventajas:

- Disminución del tiempo total de mecanizado. Los ajustes en línea ante variaciones en las características del material y el desgaste de la herramienta permiten que la máquina alcance altas tasas de remoción de material.
- Incremento de la vida útil de la herramienta. Los ajustes evitan que se presenten cargas severas en la herramienta.
- Mejora en la calidad del producto.
- Protección de la máquina, de la herramienta y de la pieza contra posibles daños.

- Disminución de los tiempos perdidos por desplazamientos en vacío.
- Simplificación de la programación y disminución de la intervención del operario.

Actualmente las industrias aeronáutica, aeroespacial y automotriz son las principales usuarias de las máquinas herramientas con control adaptativo. En estas industrias se fabrican piezas complejas que requieren tiempos largos de mecanizado. Los materiales generalmente son difíciles de mecanizar y las cantidades son pequeñas, por lo que no es fácil justificar económicamente el empleo de métodos convencionales de optimización.

Aspectos que dificultan la aplicación del control adaptativo a las máquinas herramientas

Entre los problemas que dificultan la implementación de sistemas de control adaptativo en máquinas pueden mencionarse los siguientes:

- Dificultad en el desarrollo de índices de desempeño y de sensores para medir los parámetros necesarios. Algunos parámetros tales como el desgaste de la herramienta y la calidad del acabado superficial no pueden ser medidos directamente y de manera confiable.
- Para la operación de máquinas con sistemas de Control Adaptativo con Restricciones (CAR), es necesario disponer de valores nominales (por ejemplo, fuerzas), según las propiedades de las herramientas y de los materiales del desempeño de la máquina y de la tecnología del proceso de mecanizado. Los valores nominales deben ser calculados por sistemas a partir de estos datos. Actualmente no existe una estrategia sistematizada para realizar esa operación.

- No se han desarrollado interfases estandarizadas para instalar un sistema de control adaptativo en una máquina de control numérico.
- El diseño de un sistema de control adaptativo es más complejo que el diseño de un sistema de control convencional.

Estos problemas están siendo atacados por muchos investigadores y se prevén soluciones a muy corto plazo. A pesar de todo, el número de máquinas herramientas con control adaptativo que actualmente operan en ambientes de producción es considerable y creciente.

Bibliografía

- AMITAY, G. et al. *Adaptive Control Optimization of Grinding*. Trans. ASME J. Eng. for Industry, v. 103, pp. 103-8. Feb. 1981.
- ASTROM, K.J.; WITTENMARK, B. *Adaptive control*. Addison-Wesley, Reading MA. 1989.
- CHENG, B.; CHANG, Y. *Constant Turning Force Adaptive Controller Design*. Trans ASME J. Eng. for Industry, v. III. pp. 125-32. May 1989.
- KOREN, Y. *Computer Control of Manufacturing Systems*. McGraw-Hill, Singapore. 1983.
- KOREN, Y. *Adaptive Control Systems for Machining*. Manufacturing Review. v. 2. pp 6-15. March 1989.
- LAUDERBAUGH, L.K. *Model Reference Adaptive Force Control in Milling*. Trans. ASME J. Eng. for Industry, v. III. pp. 13-21. Feb. 1989.
- ULSOY, A.G. et al. *Principal Developments in the Adaptive Control of Machine Tools*. Trans. ASME J. Dyn. Syst. Meas. and Control. v. 105 pp. 107-12, June 1983.
- WADA, R.; KODAMA, H. *Adaptive Control in Grinding*. Bull. Japan Soc. of. Prec. Engg., v. 11. pp. 1-10, Mar.1977.
- WICK, C. *Automatic Adaptive Control of Machine Tools*. Manufacturing Engineering. pp. 38-45. Sept. 1977.
- PRESSMAN, R.S., WILLIAMS, U.E. *Numerical control and Computer - Aided Manufacturing*. John Wiley & sons, New York, 1977.