

Sistemas para la adquisición de puntos en Máquinas de Medir por Coordenadas

Traian Onaciu

Director Departamento Metrología
Fundació Ascamm Centre Tecnològic

En los procesos de control de calidad se manifiesta, de manera constante, la necesidad de sistemas más acertados de evaluación de las características geométricas individuales o de subconjuntos de los productos industriales. Entre la diversidad de medios implicados en encontrar solución al problema mencionado, la MMC (Máquina de Medir por Coordenadas) es el medio más complejo y eficaz.

INTRODUCCIÓN

A finales del año 1962, la firma italiana *DEA* construyó la primera máquina de medición en un garaje de Borgo San Paolo, cerca de Turín.

En 1973, *Zeiss* creó la UMM500, máquina equipada con un palpador universal, un ordenador y un control numérico (CN). En esta composición, se encuentran, por primera vez, los dos elementos fundamentales que definen una máquina de medición tridimensional moderna: el *palpador universal* y el *ordenador*. El palpador universal es un captador de posición que, mediante contacto, permite localizar puntos sobre cualquier tipo de superficie.

Si bien en sus inicios la adquisición de puntos se realizaba sólo por palpado, en la actualidad existen diversas soluciones para conseguir el mismo propósito.



A lo largo de su breve historia, la MMC ha empleado distintos Sistemas de Adquisición de Puntos (SAP). Según la forma de relacionarse con la muestra, se pueden dividir en dos grupos (Ver Figura 2): *SAP por contacto*, llamados también palpadores, o *SAP sin contacto*. La MMC se puede ubicar para acceder a cualquier punto dentro de su campo

de trabajo en forma de paralelepípedo. De forma continua «y en cada uno de los ejes de la máquina» se leen las coordenadas (X,Y,Z), pero se validan sólo aquellos valores que corresponden a la posición en la cual el SAP está en una relación de incidencia con la superficie de interés. Este estado lo señala el usuario si se trata de palpadores pasivos, o un

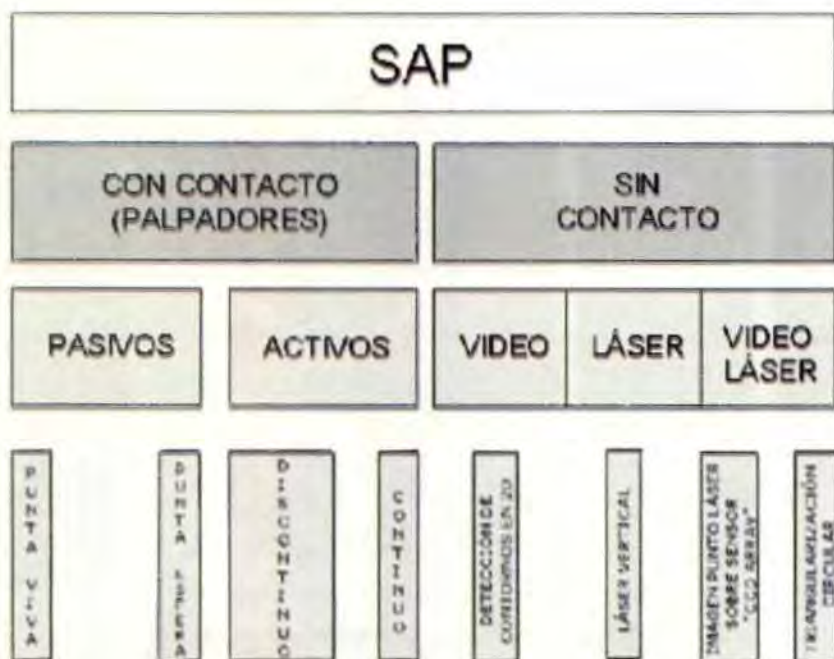


Figura 1. Tipos de Sistemas de Adquisición de Puntos (SAP).

sensor integrado si es un SAP activo. Si el sistema es activo, se puede leer la posición en movimiento, sin pérdida de precisión; mientras que en un sistema pasivo la lectura es necesariamente estática.

Denominaremos, en lo que sigue, *Sistema para la Adquisición de Puntos* (SAP) al subconjunto de la máquina que se relaciona con la muestra a medir para localizar puntos sobre las superficies de interés.

El punto se considera como elemento geométrico fundamental, sin dimensión, sin propiedades físicas, como un «ladrillo» de todas las demás construcciones que realizará el software para identificar, localizar o relacionar, entre sí, las características geométricas de la muestra sometida a análisis. La localización correcta de puntos sobre las superficies es un factor importante en la reducción del error sistemático de las MMC.

1. SAP POR CONTACTO

Se propone analizar la situación representada en la Figura 2. En su desplazamiento a lo largo del eje X, el palpador se aproxima a la cara plana de una pieza, orientada de forma perpendicular al eje. Como eventos en el tiempo, en primer lugar, se da el contacto de la pieza con el palpador y, después, como resultado de ese

contacto, en los SAP activos cambia el estado del sensor acoplado al palpador.

Evaluar la abscisa A, como distancia a lo largo del eje X respecto al origen, supone la aplicación de la siguiente fórmula primitiva:

$$A = P - V_a \cdot Dt + k \cdot r$$

donde:

P es la posición leída en el regle del eje X

V_a es la velocidad de aproximación

Dt es el tiempo entre el momento del contacto del palpador con la pieza y el disparo del sensor.

k es el coeficiente del sentido de aproximación (k = 1 si se desplaza en X+; k = -1 si se desplaza en X-)

r es el radio de la punta del palpador.

En un palpador pasivo la lectura es estática (V_a = 0) y, por este motivo:

$$A = P + k \cdot r$$

Si, además, se utiliza un palpador de punta viva (r = 0), entonces, A = P.

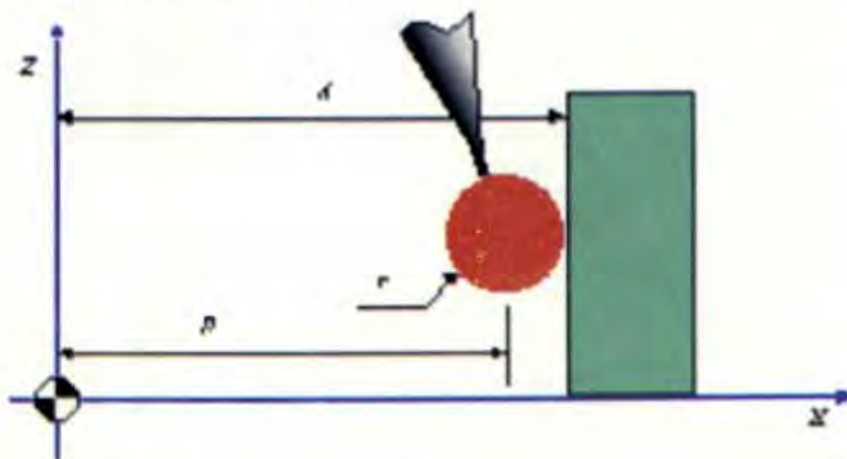


Figura 2. Palpando a lo largo del eje X

1.1 SAP pasivo de punta viva

Este tipo de SAP se utilizó en las primeras MMC, que no eran más que lectores de coordenadas de un puntero.

El único aspecto positivo de este tipo de palpador es su capacidad para localizar puntos reales sobre las superficies exploradas, debido al valor 0 del radio de su punta «viva».

El uso exclusivamente manual lo hace poco productivo. Existe riesgo de daños de estilo en la zona palpada y posibilidad de error derivado de la alteración de la punta o de la superficie explorada.

Para la calibración de la punta se requiere un calibre cúbico, con orientación paralela a los ejes de la



Figura 3. Palpador de punta viva en una aplicación de digitalizado



Figura 4. Curva 3D interpolada por puntos digitalizados con punta «viva»

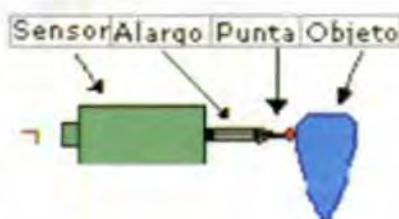


Figura 5. Esquema del principio básico de un sensor de contacto

máquina. El origen del sistema de coordenadas está basado en puntos palpados sobre el calibre. La orientación de la punta tiene que permitir el acceso a tres caras adyacentes del calibre cúbico.

1.2 SAP activo de sensor digital

Su estructura corresponde al esquema siguiente: una punta esférica de rubí entra en contacto con el objeto a explorar. Esta punta, solidaria a un vástago metálico, se puede acoplar, si es necesario, mediante un alargó o si no, directamente (enroscada) al sensor binario, capaz de ofrecer un cambio de estado de una señal eléctrica.

La fuerza graduable de un muelle obliga a los tres cilindros metálicos, orientados a 120° alrededor del eje del sistema, a que se mantengan tangentes a los tres pares de esferas, formando, así, un circuito eléctrico serie-normal cerrado. Cuando la punta entra en contacto con la superficie a explorar, se abre uno de los seis contactos eléctricos y la señal de salida cambia.

Es esta señal la que manda la lectura de los tres regles de la MMC y, también, activa los sistemas de freno para detener el movimiento de



aproximación. Hablamos, en este caso, de un *palpador dinámico*, capaz de realizar adquisición de datos en movimiento. El programa gestiona las tres coordenadas del centro de la esfera en el momento del contacto con el objeto a medir. Este tipo de SAP es eficaz en medición de piezas, cuya mayoría de características de



Figura 6. Circuito serie-normal cerrado



Figura 7. Palpador activo con sensor digital

interés están orientadas a lo largo de un eje, como en la Figura 7.

1.3 SAP con puntas en «estrella»

Cuando es preciso medir y localizar características con distintas orientaciones en 3D, se puede utilizar una *punta en estrella*. Un sensor único se activa por el contacto con la pieza de cualquiera de las cinco puntas de rubí. Todas ellas tienen que estar habilitadas para medir mediante un proceso previo de calibración y calificación. En esta fase, el programa evalúa, para cada punta, su radio dinámico y, para las puntas secundarias, las componentes axiales del vector de posición respecto a la punta principal. El valor numérico de estos vectores, con el signo que deriva de sus orientaciones, es utilizado por el programa para compensar la posición leída en los ejes.



Figura 8. Aplicación con puntas en estrella

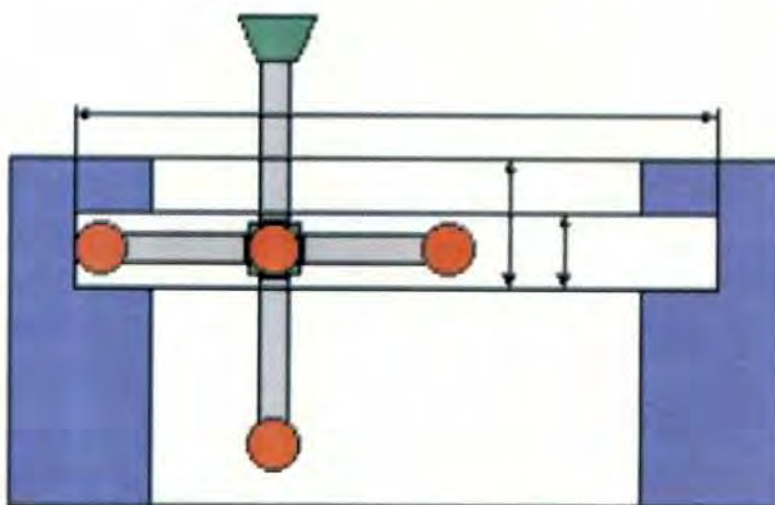


Figura 9. Punta en estrella para ranuras

Para calibrar y cualificar, se utiliza un calibre esférico de incertidumbre certificada, de rango superior al conjunto de la MMC.

Durante el proceso de medición, el usuario debe indicarle al programa

con cuál de las cinco puntas va a tocar, y prevenir la colisión de los demás elementos de la punta en estrella.

En aplicaciones para medir ranuras (como en la Figura 9), este tipo de punta es insustituible. Se pueden utilizar otras combinaciones de puntas conectadas a un mismo sensor en aplicaciones para medir engranajes.

1.4 SAP multiposición manual

Si se desea evitar las interferencias con la muestra y realizar exploraciones desde posiciones distintas y a bajo coste, se puede disponer de un SAP con múltiples orientaciones de la punta.

Con dos giros en planos perpendiculares y contando con muy buena repetibilidad, se puede calibrar y cualificar una multitud de posiciones discretas. Cuando sea necesario, el operario cambia de posición el palpador de manera manual e informa al programa de medición cuál es la nueva posición en uso. Estas tareas ralentizan el trabajo y precisan asistencia continua en ejecución de programas de medición de CN que



Figura 10. SAP multiposición manual

requieren el uso de distintas posiciones.

1.5 SAP multiposición motorizado

Similar al anterior, incluye en su estructura motores para los giros necesarios en el cambio de posición de la punta. Sus movimientos se pueden programar para la ejecución en CN. Dispone de protección contra la colisión.

En su estructura, se pueden intercalar, además de alargadores de punta (AP), unos brazos similares que facilitan el acceso a zonas incómodas. La calibración y la calificación de puntas se ejecutan con programas de CN. Se pueden escoger posiciones preferentes entre las más de 670 disponibles. Para la medición compleja de piezas repetitivas, que supone el uso de varias puntas de medición, se puede optar por un sistema de cambio



Figura 11. Facilidades de acceso con el SAP multiposición motorizado

automático de puntas para la automatización completa del proceso de medición.

Observación: Al explorar puntos individuales con SAP digitales, con la compensación de radio activada se comete un error geométrico



Figura 12. Riesgo en la compensación de R

sistemático si la aproximación hacia el punto deseado no se realiza a lo largo de la normal a la superficie en este punto. En la Figura 12, se sitúa el SAP en $Y = -k$.

Al bajar en manual a lo largo del eje Z, es imposible tocar con el punto «polo SUR» de la esfera de rubí, dado que otro punto se interpone en el camino. Al valor resultante de la Z, se le tiene que restar un valor corrector f :

$$f = R \cdot \sqrt{(1 - \tan^2 a) - 1}$$

donde R es el radio de la punta, y a el ángulo entre la dirección de la exploración y la normal a la superficie en el punto de incidencia teórico. Se constata que el error f disminuye si se utilizan esferas pequeñas, o se anula cuando se explora a lo largo de la normal local a la superficie, cumpliendo $a = 0$.

2. SAP CON CONTACTO CONTINUO

La característica particular de estos SAP es la posibilidad de realizar la exploración en movimiento continuo con el palpador esférico, tangente a la superficie. Una controladora dedicada, con la ayuda del programa, genera las dos componentes de una fuerza que mantiene el sensor en un plano de exploración con desviaciones limitadas a un umbral preestablecido respecto a la posición neutra. En tiempo real se realiza la lectura de las coordenadas X,Y,Z en los regles de la máquina. A estos valores se les aplica las correcciones con valor y signo igual a las pequeñas desviaciones de la esfera de exploración respecto a su posición neutra (con desviaciones nulas).

En el interior de este SAP las pequeñas desviaciones, como las marcadas con DX y DZ, se convierten en señal analógica mediante un sensor inductivo. Para facilidad de procesamiento, esta señal se convierte en formato digital. El programa realiza las correcciones de posición y genera un fichero *nube de puntos*, situados, todos, en una superficie *offset* de la zona de interés, separada a una distancia equivalente al valor del radio de la punta del palpador implicado en el proceso de

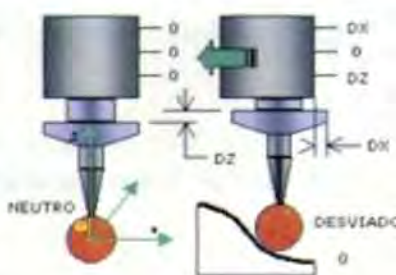


Figura 13. Esquema de SAP de contacto continuo

digitalizado. Estos puntos se pueden utilizar con un sistema CAD para construir curvas y, mediante éstas, definir por zonas unos tramos de superficies para conseguir la versión informática del modelo explorado.

El monitor fotografiado en la Figura 14 presenta la información de seis canales de entrada de datos. A la izquierda de la imagen, se observan las coordenadas leídas en los tres regles de la máquina y, al lado, a la derecha, las desviaciones recogidas en el SAP de contacto continuo.

La ayuda de los SAP de contacto continuo es muy eficaz en los procesos de reingeniería de productos, que tiene como propósito conseguir rápidamente un modelo informático de superficies complejas, creadas por modelistas o estilistas.

Basados en estos modelos, se pueden elaborar, en poco tiempo, los programas de control numérico para el proceso de mecanizado de la figura del molde, destinado a producir grandes series de estos productos.

3. SAP SIN CONTACTO

Los progresos realizados en el desarrollo de los sistemas de visión por ordenador y en el uso de los sistemas de láser industrial permiten explorar superficies 3D sin necesidad de palpar. En estos casos, sobre la zona de interés incide el eje óptico del sistema o un haz láser.

3.1. SAP con sensor CCD para 2D

Un área CCD blanco/negro, un sistema de alumbrado y un sistema de lentes ópticos son los componentes principales de este SAP. La MMC transporta el sensor con el eje óptico orientado en forma perpendicular a uno de los planos del sistema de referencia. La adquisición de puntos es confirmada por el operario en el momento en que sitúa un cursor del sistema óptico encima del contorno de la pieza. El proceso se puede automatizar, función de la transición blanco/negro, ajustando el alumbrado y el umbral de sensibilidad del sistema.



Figura 14. (a) Salida de información del SAP de contacto continuo

(b) Digitalizado con SAP de contacto continuo.

Para obtener información de coordenadas 3D sobre una superficie, se utiliza un haz láser con orientación inclinada respecto al eje óptico del sistema. La imagen del punto láser proyectado sobre la superficie se recibe en un sensor CCD lineal. Utilizando algoritmos de cálculo, se pueden evaluar las tres coordenadas del punto de incidencia.

3.2. SAP láser vertical

En estos sistemas, el haz láser tiene orientación vertical fija, incide sobre la superficie de interés, se refleja en ésta y retrocede a un sensor situado a un lado y otro del emisor. Las relaciones geométricas en el triángulo (emisor, punto, receptor) permiten evaluar las coordenadas 3D. Estos sistemas, caracterizados por su elevada velocidad de exploración, ofrecen buenos resultados sólo en superficies suaves con acabado superficial uniforme, sin brillos y en zonas con la normal a la superficie próxima a la dirección vertical.

3.3. SAP láser + vídeo

En estos SAP un haz láser, un sistema óptico y un sistema de alumbrado se complementan para solucionar en parte la problemática del caso anterior. El haz láser es coaxial al eje del sistema óptico. La imagen del punto incidente sobre la superficie se focaliza mediante un lente especial de forma toroidal sobre un sensor anular. La posición del punto *diana* está evaluada mediante un proceso de *triangulación circular*, en el cual participan multitud de imágenes del mismo punto, visto sobre segmentos de sensor, distribuidos alrededor.

Con este sensor, se elimina el efecto de orientación del sensor respecto a la superficie. La velocidad de adquisición está limitada sólo por la velocidad de la línea de comunicación

de datos. Al programa de usuario lo acompañan sistemas de procesamiento de imágenes, que ayudan a identificar primitivas geométricas (círculos, rectángulos, radios de enlace).

El sistema de alumbrado con sus parámetros de trabajo se puede asociar al programa de exploración para tratar de la misma manera las muestras repetitivas.

4. TENDENCIAS

El desarrollo de los SAP proseguirá para dar mejores soluciones a la problemática compleja de la medición y digitalización.

En la actualidad, no existe un sistema óptimo para todas las situaciones, y los diversos sistemas coexisten y se complementan. De los sistemas sin contacto, se esperan mejoras en cuanto a la dependencia del brillo y el acabado superficial. Los sistemas por contacto se mantienen líderes en cuanto a incertidumbre y repetibilidad. De los sistemas con láser, se espera la capacidad de orientarse en cinco ejes en posición perpendicular a la superficie incidente.

Para digitalización rápida de modelos, se están experimentando sistemas de adquisición de imágenes grabadas en una cámara de vídeo con libertad de movimiento y orientación alrededor del modelo. La posición y la orientación de la cámara están relacionadas mediante un *radiolocalizador* con un punto fijo que sirve de origen. Patrones de sombra en forma de mallas se proyectan sobre la zona de interés.

El programa actúa después de la adquisición, solapando imágenes con base en los patrones proyectados y reconstruyendo las formas 3D a partir de las posiciones y las orientaciones, registradas en sincronismo con las imágenes grabadas. De este modo, el proceso de adquisición de datos se

puede reducir a segundos. Se prevé su aplicabilidad en la inspección de formas en tiempo real en líneas de fabricación, con capacidad de reconocimiento de la desviación de la forma prevista y exclusión de la muestra defectuosa.

Para recordar:

El punto se considera como elemento geométrico fundamental, sin dimensión, sin propiedades físicas, como un «ladrillo» de todas las demás construcciones que realizará el software.

La localización correcta de puntos sobre las superficies es un factor importante en la reducción del error sistemático de las MMC.

La ayuda de los SAP de contacto continuo es muy eficaz en los procesos de reingeniería de productos.

En la actualidad, no existe un sistema satisfactorio para todas las situaciones, y los diversos sistemas coexisten y se complementan.

Para digitalización rápida de modelos, se están experimentando sistemas de adquisición de imágenes grabadas en una cámara vídeo con libertad de movimiento y orientación alrededor del modelo.

Reproducido con autorización expresa del autor

<http://www.metalunivers.com/arees/metrologiadimensional/tutorial/sistemasadquisicion.htm>

