

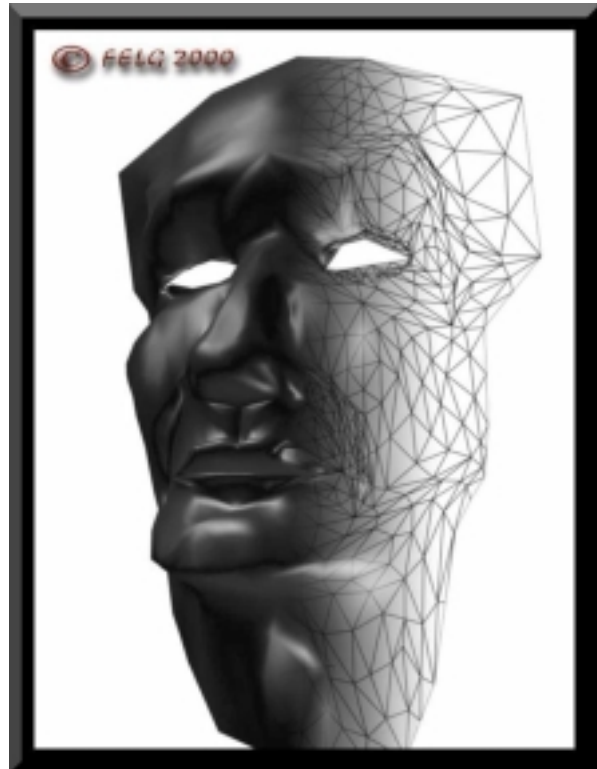
Generación de código de maquinado en 3D para modelos basados en mallas

F. Eugenio López G. *, Rafael Colás O. *
Francisco Ramírez C. *, Klaus Rall**

Abstract

The evolution of CAD/CAM (computer aided design / computer aided manufacturing) systems has enabled more complex parts to be modelled. Today, most of the modelled parts are more than grouped geometric primitives (points, arcs, lines, etc), but complex shapes defined through three dimension surfaces, that can not be directly processed by the tool-machine control. Hence, there is a need to create methods to allow the machining process. This article presents an approach to generate numerical control code (NC code) from 3D meshes geometries for a 2 ½ axis milling machine. First the theoretical constraints of 3D machining are explained. Then a method based on mesh geometries and unit vectors is presented. The results of this method were obtained by means of computer simulations. Finally, a series of proposals for the improvement the proposed method are presented.

Key words: CAD/CAM, geometric modelling machining, interpolation, CNC.



INTRODUCCIÓN

Cada día se incorporan al mercado sistemas de diseño mecánico por computadora (CAD / CAM por su nombre en inglés) con mejores capacidades que permiten construir modelos geométricos rápida y eficientemente con superficies de forma libre. El implementar estos programas de diseño geométrico en una planta implica no solamente la transferencia de datos sin complicaciones de formato entre diferentes plataformas computacionales, sino también que las máquinas-herramienta estén capacitadas para interpretar los diferentes formatos de datos y maquinar dichas geometrías. El proceso de generación de código NC debe incluir el dominio de las bases teóricas para implementar óptimamente

diferentes trayectorias y formas geométricas en máquinas-herramienta adecuadas.

A menudo ocurre que las características de procesamiento de una computadora sobrepasan las del control de una máquina-herramienta. Esto significa que, para la mayoría de los programas de diseño mecánico, se supone una máquina-herramienta de características adecuadas a él, lo cual normalmente no sucede, ya que el desarrollo del ámbito computacional es de mucho mayor

* Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica UANL.

** Departamento de Materiales y Automatización, TUHH, Alemania.

velocidad que el de las máquinas-herramienta. Esto sucede básicamente por las siguientes razones:

- La computadora se ha convertido en un producto casero, por lo que el número de personas a nivel mundial trabajando sobre desarrollos y mejoras para computadoras es mucho mayor al de las máquinas-herramienta.
- Tanto la construcción como los códigos de programación para una máquina-herramienta están casi en su totalidad estandarizados mundialmente (salvo un grupo pequeño de códigos específicos). Lo cual no ocurre con las computadoras cuyos estándares son determinados prácticamente por el momento de mercado.
- El costo de venta de una máquina-herramienta es mucho mayor que el de una computadora, y en consecuencia las capacidades innovativas en las nuevas generaciones de máquinas-herramienta suceden a intervalos mayores.
- El atraso tecnológico de algunos países con respecto a otros obliga a que en muchas empresas se trabaje con máquinas-herramienta parcial o totalmente obsoletas.

El problema

Hoy en día es frecuente encontrar modelos tridimensionales hechos por computadora con propósitos diferentes a los de maquinado, compuestos de geométricas más complejas que las líneas y arcos. Ejemplos de ello son las geometrías que se usan en análisis de elemento finito, representación tridimensional, sistemas de realidad virtual, animaciones para video, etc. Estas geometrías tienen una estructura de datos que se almacena en disco en formatos compuestos por coordenadas de puntos, superficies y vectores, formando mallas.

Existen casos en los que es deseable utilizar éstas geometrías ya construidas con el propósito de fabricar:

- prototipos rápidos,
- moldes para maquetas,
- modelos con especificaciones no rigurosas de exactitud

Sin embargo, existe poca -y en algunos casos nula- compatibilidad entre los formatos de datos que manejan los sistemas de CAM (normalmente formatos no estandarizados especificados por el fabricante) y los de las geometrías tridimensionales de propósito diferente al maquinado.

Los fabricantes de sistemas de CAM usualmente ofrecen módulos (que se compran por separado) de conversión entre formatos. Sin embargo, la efectividad de ellos depende en gran medida de la geometría a convertir, ya que éstas tienen que cumplir condiciones de interpolación y construcción. En muchos casos esas condiciones no se cumplen y la conversión es defectuosa o mala, dejando cuerpos de superficies no cerradas o con condiciones ambiguas de volumen.

La solución

Como solución se propone el análisis directo de las superficies considerando que las geometrías están construidas en base de mallas, calculando la posición de la herramienta en donde se desea que la máquina haga el trabajo de maquinado.

El modelo geométrico a maquinar puede ser generado por diferentes medios de construcción. Ya sea a partir de la salida de una máquina de coordenadas o directamente del modelo conceptual implementado y mejorado con un sistema de diseño por computadora.

Los algoritmos de generación de caminos de maquinado implementados en sistemas de CAD parten de la construcción del modelo geométrico en base a curvas determinadas matemáticamente. La interpolación y el cálculo de la trayectoria de la herramienta se basa en la creación de curvas paralelas en donde la herramienta la sigue tangencialmente.

Ya que solamente los controles modernos son capaces de procesar curvas complejas (esencialmente las llamadas NURBS, cuyo nombre proviene de las siglas en inglés “Non-Uniform Rational B-Splines”). Curvas matemáticas parametrizadas definidas por puntos de control, y forman parte de la técnica moderna para el diseño de geometrías en computadora) es necesario encontrar un método de interpolación sencillo que pueda ser procesado por un control no moderno. El método de generación de trayectorias de herramienta a partir de los modelos geométricos en base de mallas permiten prescindir de interpolaciones complejas, ajustándose únicamente a la calidad de la malla.

MODELACIÓN VOLUMÉTRICA

Mallas triangulares como elemento de construcción

El modelo geométrico original a ser maquinado puede ser aproximado a un conjunto de mallas triangulares, sobre las cuales se planea el camino de la herramienta de corte. Una malla triangular puede ser definida como un conjunto de superficies triangulares, las cuales tienen vértices en común.

La malla puede ser representada como un vector de m superficies:

$$\text{Malla [m]} \tag{1}$$

en donde la superficie triangular i tiene tres vértices, de tal manera que ésta puede ser representada por tres puntos:

$$\text{Sup}_i = [P_{ai}, P_{bi}, P_{ci}] \tag{2}$$

en donde P_{ai} , P_{bi} y P_{ci} son índices de un vector de puntos P, que tienen componentes en los ejes de coordenadas cartesianas:

$$\begin{aligned} P_{ai} &= [P_{ai.x}, P_{ai.y}, P_{ai.z}] \\ P_{bi} &= [P_{bi.x}, P_{bi.y}, P_{bi.z}] \\ P_{ci} &= [P_{ci.x}, P_{ci.y}, P_{ci.z}] \end{aligned} \tag{3}$$

Un volumen cerrado puede ser representado con el esquema anterior, en donde existe un vector normal para cada superficie indicando el sentido hacia afuera del volumen, véase figura 1

$$N_i = [N_{i.x}, N_{i.y}, N_{i.z}] \tag{4}$$

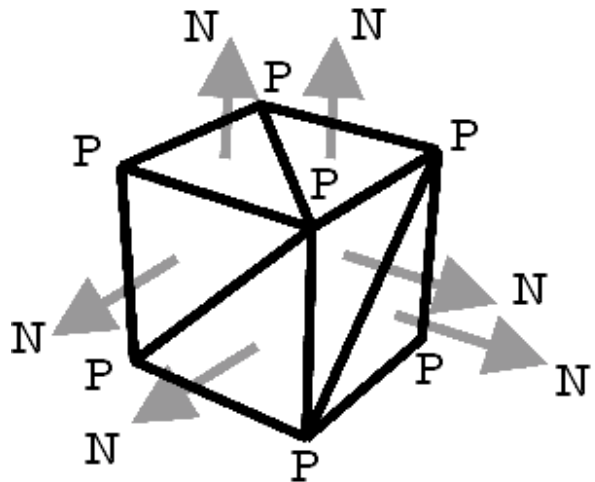


Fig. 1. Representación de volumen por medio de una malla triangular. Los vértices son 8 y el número de caras triangulares y vectores normales es 12.

Bajo ese principio se construyeron las superficies de primitivas geométricas y superficies de formato libre de la figura 2.

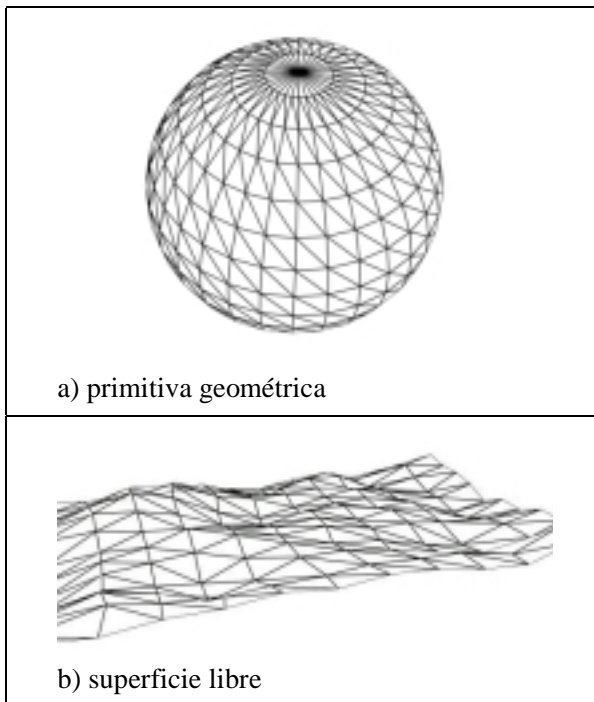


Fig. 2. Geometrías construidas en base a mallas triangulares

El número de superficies de la malla determina la precisión del modelo y su orden es de miles. Por razones de espacio no se presentan los valores numéricos de los modelos. Es frecuente encontrar este tipo de construcciones para aplicaciones de elemento finito, como por ejemplo análisis estructural, en donde las ecuaciones diferenciales se discretizan y se encuentran valores para cada línea.

Condiciones de tangencia

Al margen de las aplicaciones en otros campos, los modelos de malla pueden ser usados también para la generación de código NC. A continuación se presenta un método para encontrar las posiciones de la herramienta de corte (CLF) sobre un material, partiendo de que ambos cuerpos son modelos de malla, y considerando las siguientes entidades geométricas:

h malla del cortador de la herramienta
 m malla de la pieza
 r un rayo en dirección $(0,0,-1)$

El centro de la malla de la pieza tiene una posición conocida pos y coordenadas de límite que pueden representarse como un arreglo lim de tamaño 2.

m tiene una posición dada por
 $m = [m.pos.x, m.pos.y, m.pos.z]$

las coordenadas min y max de m son

$$m = [lim_1, lim_2], \quad (5)$$

en donde

$$lim_1 = [lim_{1,x}, lim_{1,y}, lim_{1,z}] \quad (5a)$$

$$lim_2 = [lim_{2,x}, lim_{2,y}, lim_{2,z}] \quad (5b)$$

Lo cual permite trazar un conjunto de rayos desde cada vértice de cada superficie de la malla de la herramienta y determinar su punto de encuentro con la malla de la pieza, como puede ver en la figura 3.

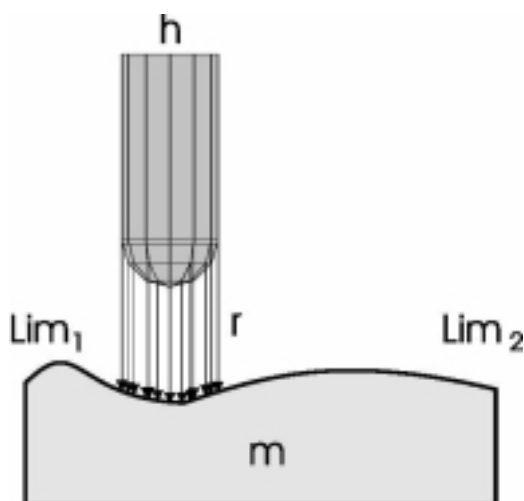


Fig. 3. Proyección de rayos desde la malla de la herramienta hasta las superficies de la pieza.

La tangencia de la herramienta estará determinada por el punto de encuentro en la superficie de la malla m del rayo de menor distancia. Esta distancia será entonces la altura adecuada en el eje Z de la máquina-herramienta que deberá ser programada en el código NC.

Para cada posición durante el avance de la herramienta se traza el conjunto de rayos y se calcula el nuevo valor de tangencia.

CONDICIONES TEÓRICAS DE MAQUINADO

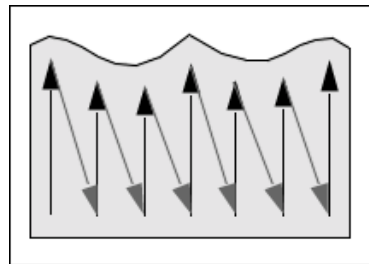
El aspecto geométrico de un programa de NC involucra no solamente el contacto de la herramienta con la pieza, sino además el orden del recorrido de la herramienta por todos estos puntos, considerando en dónde la herramienta tiene que retirarse de la acción de corte y en dónde debe volver a atacar el material. En esta sección se explican las formas básicas para la planeación de dichos movimientos.

Código NC para dos y tres dimensiones

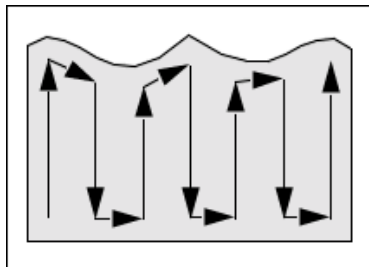
El movimiento simultáneo de los ejes de la máquina-herramienta define el número de ejes de la misma. En consecuencia, el código NC debe estar supeditado a esta limitante. Para una fresadora de $2\frac{1}{2}$ ejes, es posible programar la trayectoria de la herramienta en el plano XY , XZ o YZ . Para una máquina de tres ejes, los movimientos programados son en XYZ , mientras que para máquinas de más de tres ejes los movimientos programados pueden incluir simultáneamente el movimiento de un mecanismo adicional como por ejemplo la rotación de la mesa o el ángulo de inclinación del eje de la herramienta.

Para lograr el maquinado de una superficie completa es necesario implementar una estrategia de maquinado. La estrategia es la determinación de la sucesión de curvas de maquinado de dos dimensiones que en conjunto logran conformar con el mínimo de error la geometría que se desea reproducir en el material. Las formas clásicas de las estrategias planares de maquinado son tres: unidireccional, zig-zag y concéntrica según se puede observar en la figura 4.

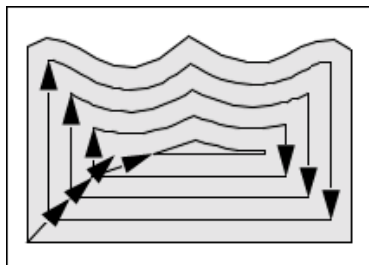
La estrategia unidireccional considera el corte de herramienta en una sola dirección, mientras que la de zig-zag lo hace en forma bidireccional. En la forma unidireccional la herramienta se levanta del plano de corte al final de la trayectoria y se recorre rápidamente al inicio de la siguiente trayectoria la cual inicia una vez que la herramienta se coloca lentamente en contacto con el material y se puede empezar a cortar. Por contraste, la estrategia de zig-zag considera el corte principal en ambas direcciones, lo que permite el contacto continuo de la herramienta sin que ésta tenga que perder tiempo en establecer una nueva posición de corte, hasta que todo el camino ha sido recorrido, como se muestra en la figura.



a) unidireccional



b) zig-zag



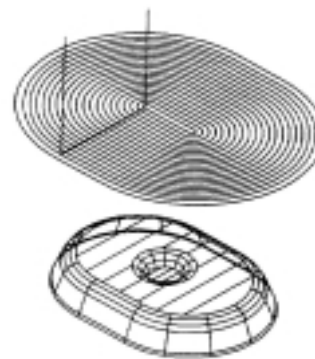
c) concéntrica

Fig. 4. Estrategias clásicas de maquinado.

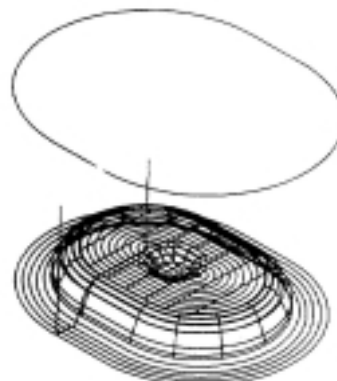
La estrategia concéntrica corta también en forma continua, solamente que en este caso, a lo largo de todo el contorno, ya sea desde el centro hacia los límites externos, o desde ellos hacia el centro como se muestra en la figura 5.

Para probar el método propuesto se utilizó el corte en forma unidireccional, pues presenta la ventaja de ser relativamente simple en su implementación y es fácil de modularizar. Sin embargo, el proceso de corte alternado con

recorridos de herramienta en vacío somete al material y a ésta a esfuerzos provocados por los cambios de temperatura.



(a)



(b)

Fig. 5. Aplicación de la estrategia concéntrica de maquinado. a) estrategia, b) proyección sobre los puntos de tangencia

Las estrategias de corte continuo tienen la ventaja de remover mayor cantidad de material en menor tiempo, mantienen la herramienta continuamente en el proceso de corte y por lo tanto tienen un mayor rendimiento. Sin embargo, tales recorridos requieren controles NC con suficiente capacidad de memoria para albergar un programa

completo y por lo tanto las geometrías no son relativamente complejas.

Una geometría a maquinar puede ser modularizada fácilmente en uno o varios programas NC, adaptándose de esta manera a la memoria disponible en el controlador de la máquina.

Modularizar un programa NC que mantiene a la herramienta en corte continuo requiere de decisiones adecuadas para la inserción de instrucciones de retirada de herramienta en lugares geométricos adecuados, lo cual no siempre es posible sin impactar en el acabado superficial y en consecuencia no puede hacerse por medios completamente automáticos.

VERIFICACIÓN Y RESULTADOS

Comprobación usando un sistema de CAD/CAM

Para verificar el código NC generado se hizo una simulación de maquinado con un sistema de CAD/CAM utilizando SurfCAM v6.1b.

La figura 6 muestra la simulación del maquinado hecha con el programa SurfCAM de Sirius v4.0.2 para la verificación de código NC.

El programa aceptó sin problemas el código NC generado, lo cual implica cero errores de sintaxis, y posiciones de planos de trabajo válidos. El análisis de colisiones AnySIM reporta que no existe ninguna colisión, ni condiciones de corte inválidas (por ejemplo enterramiento de herramienta).

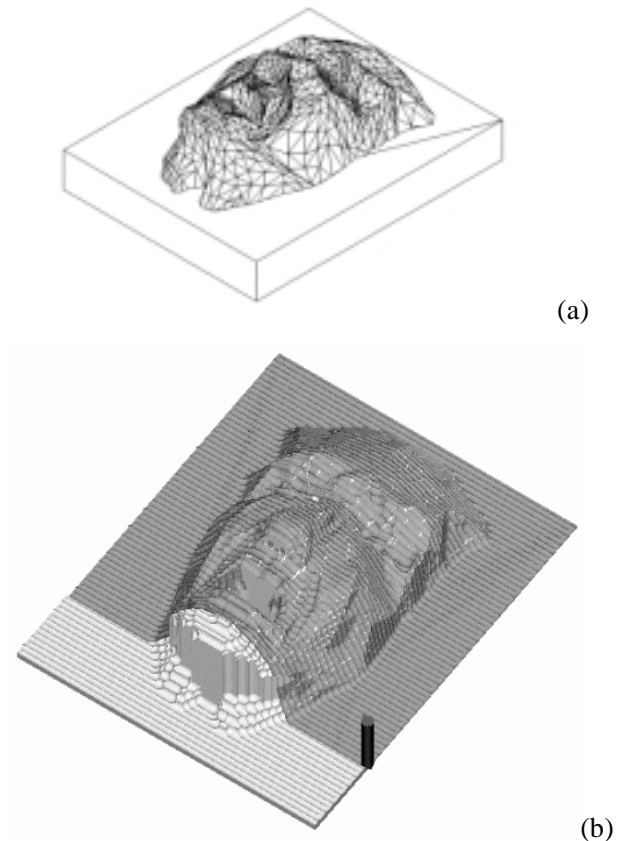


Fig. 6. Verificación del método

(a) Modelo de un rostro humano creado con mallas de superficies triangulares que se utilizó para comprobar el método.

(b) Simulación del programa NC para el maquinado.

CONCLUSIONES

El presente trabajo presenta un método para la generación de código NC a partir de geometrías de superficie libre y las creadas para diferentes aplicaciones a las de diseño exacto de productos. Adicionalmente se explican las razones para seleccionar una estrategia de maquinado en particular de acuerdo a diferentes casos.

Por medio de una simulación se comprueba que el método propuesto es realizable. Algunos aspectos que pueden verse involucrados en el problema se dejan como propuesta de estudio posterior:

- El análisis del acabado real del maquinado de la pieza producida con respecto a la malla teórica
- Estrategias de maquinado para 3 o mas ejes
- Análisis de los parámetros de corte para diferentes materiales
- Interpolación para continuidad geométrica

El método de maquinado se presenta como propuesta de trabajo en el Centro de Manufactura de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la UANL.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado por los autores* como parte de su proyecto de investigación del Doctorado de Materiales FIME-UANL bajo el apoyo de PROMEP, utilizando las instalaciones del Centro de Manufactura Integrada por Computadora de la FIME-UANL:

- Centro de maquinado EMCO VMC 300
 - Licencia de software SurfCAM v 6.1b
- y el del Departamento de Materiales y Técnicas de Automatización de la Universidad Técnica de Hamburgo, Alemania:

- Control simulador SIEMENS 640D
- Computadora Pentium dual 500Mhz
- Sistema de simulación AnySIM v2.0

Los autores agradecen la colaboración del Dr. Moisés Hinojosa en la revisión del manuscrito.

REFERENCIAS

1. Foley, James D. Computer Graphics Principles and Practice. Addison Wesley, 1996.
2. Piegl, Les The NURBS Book. Springe Verlag, 1997.
3. Klein, Friedrich. NC-Steuerung für die 5-achsige Fräsbearbeitung auf der Basis von NURBS. Shaker Verlag. Ph.D. Dissertation, Technische Hochschule Aachen, 1995.
4. SINUMERIK 810M. User's guide. SIEMENS AG, 1990.
5. EMCVMC-300 Vertical Milling Center. User's guide. EMCO MAIER GmbH, 1993.
6. SurfCAM v6.1B. User's guide, 1994.