

Maquinado de trayectorias en dos dimensiones basadas en pixeles

Francisco E. López Guerrero, Francisco Ramírez Cruz*

Abstract

The Computer-Assisted Design (CAD) and the Computer-Assisted Manufacture (CAM) processes have been presented as a model to ensure high flexibility and accuracy. The complexity of this model implies a long and difficult teaching-learning process for both students and designers operating the tool-machines. This article presents a learner-centered project for engineering students to develop technology by manufacturing 2D products without precision but with rapid fabrication response using commercial computer programs and appropriate interface adaptations.

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

INTRODUCCIÓN

El método tradicional de programación de máquinas-herramienta es a través de códigos estandarizados llamado código NC, del inglés “*numerical control*”, en forma de instrucciones de máquina. Estos códigos son dados al control de la máquina-herramienta en forma manual por medio del teclado del control de la máquina o a través de una computadora.

El significado de estos códigos forma parte de un estándar internacional para los controles de las máquinas, y la ejecución de cada código se encuentra en la memoria del control de la máquina-herramienta.

Actualmente existen programas de computadora que generan el código NC automáticamente a partir de geometrías que el usuario diseña.

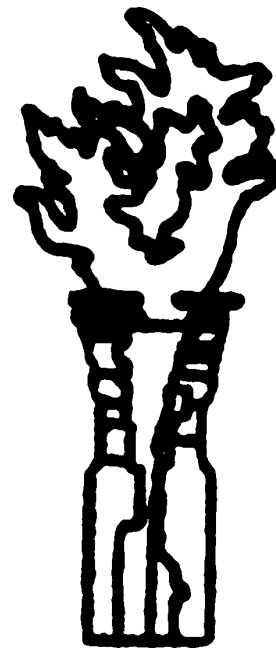


Figura 1.- Maquinado sobre pieza de acrílico transparente utilizando la técnica descrita en este artículo.

El problema

Cuando se desea maquinar piezas con geometrías que contengan algo más que un par de líneas rectas y arcos es necesario usar un programa de diseño por computadora. Sin embargo, existen situaciones de mercado en que para empresas o negocios la inversión en la adquisición de programas de computadora de diseño para la fabricación con máquinas-herramientas, y el entrenamiento del personal en ello, no se justifica en términos de tiempo, producción y ganancia.

*

Doctorado en Ingeniería de Materiales, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica UANL.

El proceso tiene una complejidad y curva de aprendizaje grandes, que son independientes del grado de complejidad del producto a fabricar; esto tiene como consecuencia que, en ambientes productivos, el recurso humano es costoso en factores de tiempo y economía.

Las instituciones de educación se enfrentan al problema adicional de tener que decidir cómo modular el aprendizaje, pues la duración de los cursos -normalmente en semestres- no contemplan todo el proceso de fabricación en detalle. Esto repercute en la forma de interacción de los objetivos entre cursos.

La solución

El objetivo es el de adaptar las características básicas del manejo de una máquina-herramienta a las aplicaciones comerciales de computadora logrando así utilizar la máquina-herramienta con el mismo nivel de transparencia con el que un usuario utilizaría una impresora.

EL MODELO PROPUESTO COMO SOLUCIÓN Y SUS RESTRICCIONES

Antecedentes

El código NC se compone de instrucciones en forma de “palabras” que modifican el estado de la máquina, como por ejemplo movimientos de la herramienta, velocidades, repeticiones, etc. Salvo la nueva generación de máquinas-herramientas modernas, en la mayoría de los controles están implementados solamente los códigos que manejan entidades geométricas sencillas como movimientos lineales y arcos. Elaborar código NC para geometrías de mediana complejidad le llevaría a un programador de máquinas-herramientas demasiado tiempo; en consecuencia puede decirse que la programación manual en código NC está

encaminado a la fabricación de piezas de geometría sencilla.

En contraste, los programas de computadora para dibujo y diseño mecánico permiten la elaboración parametrizada de entidades geométricas elementales tales como puntos, líneas y radios hasta entidades geométricas complejas como NURBS², (del 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). Si se requiere el maquinado de dichas geometrías, la interpretación de estas curvas de precisión requiere de software apropiado para la generación de archivos CLF³ (Cutting Location File) en donde se consideran las características geométricas de la pieza, materiales, máquina y herramienta, así como de programas postprocesadores para la generación de código NC, específico para una máquina determinada. Este procesamiento de información requiere por parte del usuario los siguientes datos:

- Máquina a usar (torno, fresadora, etc)
- Número de ejes motrices
- Controlador destino (marca y modelo)
- Datos geométricos de herramientas
- Características de maquinado (profundidad de corte, velocidad, acabado)

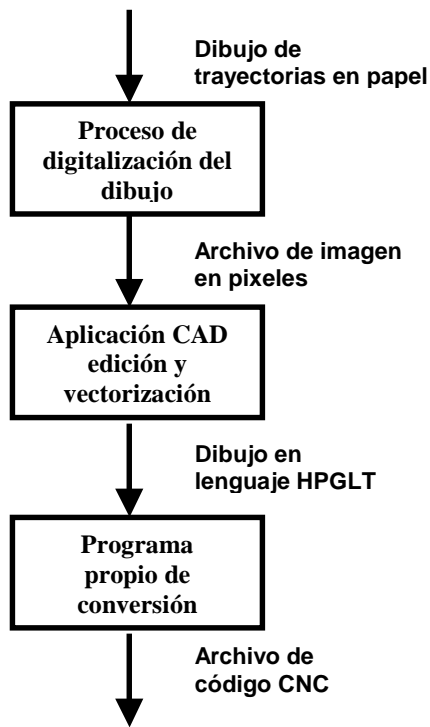
Esta información debe ser dominada por el usuario para generar código NC de mediano grado de complejidad.

El proceso completo

La implementación debe realizar todos los pasos de la cadena de diseño rápidamente sin invertir tiempo en los subprocesos que requieren mucho detalle, logrando de este manera no desviar la atención del proceso completo. La adaptación empata de las características del programa de

diseño con la máquina-herramienta permiten que la situación de diseño sea equivalente a la situación de fabricación. La figura 2 muestra el modelo del proyecto.

Fig. 2. Diagrama a bloques del proyecto.



El proyecto consta de la aplicación de interfaces propias que enlacen programas de computadora de uso general, con lo cual se logra una relación directa del equipo computacional con las características de la máquina-herramienta. En la tabla I se muestra esta relación.

Impresora	Máq-herramienta
Cantidad de plumillas	Cantidad de herramientas
Número de plumilla	Número de herramienta
Hoja de dibujo	Superficie de trabajo
Origen del dibujo	Origen del programa NC

DIGITALIZACIÓN

El proceso de digitalización tiene como objetivo el convertir la información dibujada en papel a entidades numéricas para ser procesadas por otros programas de computadora. Para el caso de un punto dibujado, por ejemplo, la digitalización consiste en obtener sus coordenadas en el espacio. En el proyecto las únicas primitivas geométricas usadas fueron el punto y la línea recta, ya que el control de la máquina herramienta usado tiene solamente capacidades de interpolación lineal y circular⁵; para simplificar el proceso, la interpolación lineal fue la única utilizada.

La estrategia más simple para la conversión de píxeles a líneas es usar un software de reconocimiento de gráficos configurándolo de acuerdo a las condiciones geométricas descritas a continuación.

Los archivos de imágenes que incluyen otro tipo de primitivas (círculos, polilíneas, etc) fueron aproximados en forma lineal. Los atributos tales como ancho y estilo se excluyeron.

El algoritmo para conversión de líneas calcula las coordenadas de los píxeles que se aproximan al

ideal, el cual es una línea recta delgada puesta sobre una malla de dos coordenadas¹. Para el modelo se consideró la línea ideal como de un pixel de ancho, con incremento unitario por fila y/o columna; esto es, salvo el color, líneas de atributo fijo. El atributo del color se utilizó con el propósito mostrado en la tabla I.

La figura 3 muestra una línea recta inclinada; en el recuadro se observa el trazo de la recta ideal en la malla de pixeles producto del proceso de digitalización.

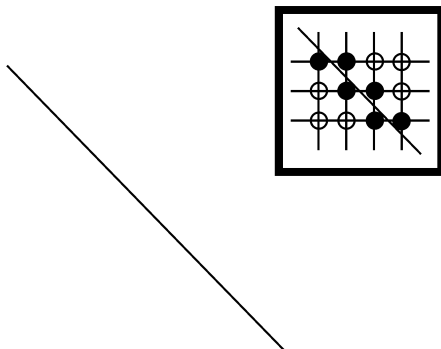


Fig. 3. Archivo gráfico en base a pixeles.

EDICIÓN Y VECTORIZACIÓN

Manteniendo la filosofía de compatibilidad de las aplicaciones del sistema operativo de la computadora con la configuración de la máquina-herramienta, el escalamiento se hizo tomando en consideración el tamaño y la forma de la sujeción en la máquina-herramienta, del material a maquinar y la profundidad final deseada. Las capacidades de edición de los programas de computadora permiten con relativa facilidad escalar, centrar, espejear y repetir figuras.

El archivo conteniendo las coordenadas finales (figura 4) se obtuvo por medio de la función de exportación a archivos de trazador gráfico o “plotter” en HPGL, el lenguaje de programación para dibujar con un trazador gráfico que tiene a disposición el sistema operativo para cualquier aplicación.

```

IN;
VS32,1;
VS32,2;
VS32,3;
VS32,4;
VS32,5;
VS32,6;
VS32,7;
VS32,8;
WU0;
PW0.350,1;
PW0.350,2;
PW0.350,3;
PW0.350,4;
PW0.350,5;
PW0.350,6;
PW0.350,7;
PW0.350,8;
SP1;
PU-3622 4270;
PD2715 -2257;
SP0;
    
```

Fig. 4. Archivo en formato HPGL.

Las amplitudes de las líneas se sustituyen con varias líneas de ancho unitario. Las superficies de relleno con achurados; el atributo del color se traspa en correspondencia directa al número de plumilla del trazador (Tabla I). Un indicador lógico mantiene el estado de la plumilla en contacto sobre el papel, para diferenciar los movimientos de escritura de los movimientos en vacío del cabezal trazador.

En resumen, la información contenida en el archivo resultante es:

- Coordenadas de inicio de línea,
- Coordenadas de final de línea,
- El atributo del color/plumilla,
- El estado lógico de la plumilla

CONVERSIÓN A CÓDIGO NC

En la figura 5 se lista el código NC resultante de la interfase de conversión a código. Inicialmente con los datos de generación como comentarios. Las medidas son convertidas de pulgadas (del formato HPGL) a milímetros. Las coordenadas de superficie de trabajo y en vacío considerados en el parámetro R1 son calculadas a partir de las medidas del material a maquinar.

La compensación geométrica de la longitud de la herramienta (parámetro D, en la figura 5) debe ser necesariamente considerada, lo que no sucede con la compensación de radio. Para compensaciones de radio, es necesario generar trayectorias paralelas a una distancia menor o igual al radio de la herramienta.

Esto se aplica también en el maquinado de islas y cajas, lo cual no representa mayor problema para cualquier aplicación de CAD. En el ejemplo de la figura 3, la compensación de radio no es necesaria, pues se trata de un trabajo de grabado.

La retirada de herramienta y coordenadas finales permiten que, a través de señales de sincronía, la pieza fabricada sea retirada de la máquina por un robot manipulador de material.

```

%CLF
MPF 69
%M30

%MPF 69
(*****
(PROYECTO: WinDNC
para fresa)
(ARCHIVO:
GRAFICO1.CNC)
(AUTOR: Eugenio
Lopez G.)
(*****

G71 (medidas en
milímetros)
G55 G94
R1=-16.100
G53 G00 Z300.

T01 D01 L96
M03 S1000 F500
G00 Z-5.100
G00 X-92.024 Y108.433
G01 Z=R1
G01 X68.936 Y-57.353

G71 G94
G53 G00 Z300.
G53 G00 X216.
G53 G00 Y327.
M30

```

Fig. 5. Código NC resultante

MAQUINADO

Las condiciones que deben contemplarse para la generación de código NC no son solamente geométricas. Tiempo, velocidad y aceleración son fundamentales, pues estas variables son, al final, las restricciones que la máquina-herramienta en conjunto con las características de los materiales de herramienta y pieza determinan la calidad del

producto. Para programar un código NC mejorado, es necesario considerar su forma de procesamiento por parte del control de la máquina, sin dejar de observar los límites de trabajo que los materiales imponen.

El control en la máquina-herramienta

Funcionalmente, un control de máquina-herramienta consta de un procesador de bloques de código y un ejecutor de dichos bloques, el cual está dividido en tareas de diferentes prioridades. Las funciones preparatorias para el procesamiento del código se ejecutan en el fondo (modo de "background"), mientras que las secuencias de movimiento individual son controladas y reguladas por el ejecutor de bloques⁴.

El procesador de bloques tiene asignadas las siguientes tareas:

- Creación del programa en memoria
- Decodificación e intérprete (código intermedio)
- Preprocesador (transformación de coordenadas, compensaciones de herramienta, función "look-ahead")

Mientras que el ejecutor de bloques:

- Procesador principal (interpolación, transf. coord. de máquina, control de movimiento)
- Interpolación fina, control de posición
- Control de velocidad, control de torque
- Modulación de pulsos

En la siguiente sección se presenta el impacto de la filosofía de operación del control en la generación automática de código NC.

Posición, velocidad y aceleración

Para el proyecto fue considerada solamente la definición de un contorno lineal (curvas con aproximación lineal). Las características de velocidad y aceleración del movimiento de cada eje de la herramienta para un contorno dado se muestran en la figura 6, asumiendo que tanto en el punto inicial como en el punto final la herramienta se encuentra en reposo.

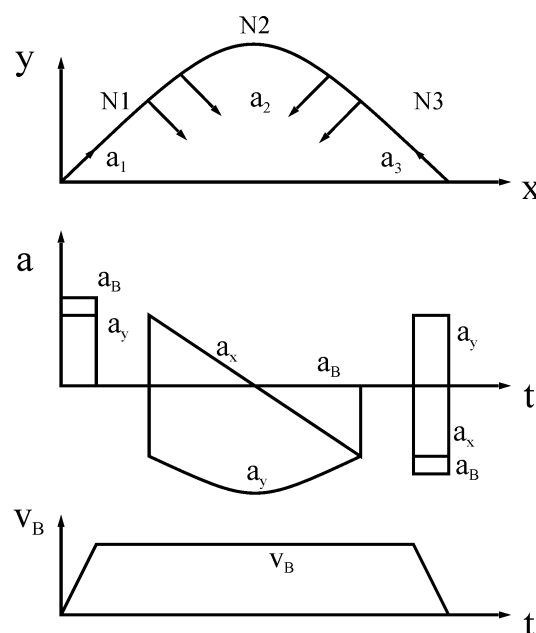


Fig. 6. Comparación de trayectoria, velocidad y aceleración para cada eje.⁴

La función “look-ahead” (figura 7) permite adelantar los cambios de movimiento y posición para el siguiente bloque, lo cual permite un cambio más suave, previniendo de esta manera también un error potencial de “over-drive”, o sea, velocidad y posición programadas imposibles de alcanzar. Las limitantes de esta función están dadas, entre otros factores, por la velocidad máxima y la distancia geométrica de trayectoria requeridas por el usuario para ese bloque de código.

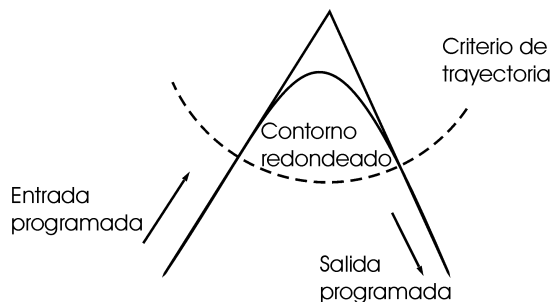


Fig. 7 Redondeo del contorno de acuerdo a un criterio de trayectoria.⁴

Este aspecto fue especialmente importante para la elaboración de la interfase propia, pues genera automáticamente movimientos calculados en base a distancias cortas, aproximaciones de curvas y altas velocidades. En el ejemplo de la figura 5 las velocidades son de $S=1000$ rpm y $F=500$ mm/min.

La pieza de acrílico transparente mostrado en la figura 1 fue maquinada utilizando la técnica descrita en este artículo. No se muestran los archivos intermedios ni el código CNC por razones de espacio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Implementación en FIME

El proyecto se implementó con éxito en las clases de “Seminario de Ingeniería” de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. El tiempo de aprendizaje de las nuevas herramientas de software para modelado mecánico se vió drásticamente reducido. La capacidad de responder a la fabricación de piezas por parte de las instalaciones del Centro de Manufactura se incrementó; actualmente se fabrican piezas de geometría más elaborada.

Limitantes

La limitante más drástica de este método es que los trabajos que se puedan realizar se limitan a dos dimensiones, puesto que ésta es la frontera de trabajo de las impresoras y trazadores gráficos de computadora. El grado de exactitud es mucho menor al logrado con programas especializados de diseño mecánico, por lo que la aplicación del método requiere el conocimiento previo del nivel de exactitud que se desea alcanzar en la pieza a producir.

Perspectivas a futuro

La generación de código NC para geometrías tridimensionales basadas en mallas a partir de modelos ya existentes forma parte de la principal mejora a futuro del método. Esto implica implementar algoritmos de interpretación de formatos de geometrías tridimensionales y su compatibilidad con programas de diseño por computadora. Actualmente se desarrollan mejoras para SolidWorks y SurfCAM ©.

Características del equipo usado

El proyecto se realizó en las instalaciones del Centro de Manufactura Integrada (CIM) de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, como parte del proyecto de desarrollo tecnológico del mismo centro, apoyando de esta manera a las clases de licenciatura y postgrado que tienen asignado dicho equipo.

Maquinaria de planta

Como maquinaria se consideró la que forma parte de la celda de manufactura del CIM:

- Centro de maquinado EMCO de 2 ½ ejes, con controlador SIMENS modelo 810M
- Multiplexer 2 entradas / 4 salidas

Equipo de cómputo

Como equipo de cómputo se consideró al que se utilizó para acondicionar una estación de diseño remota y con capacidad de transmisión por medio de la red UANL:

- Computadora personal 486 de 133 MHz con software: Windows 95, CorelDraw v5, CorelTrace, TurboC v3.1 para desarrollo de interfases propias
- Scanner genérico de 300 dpi
- Plotter HP de inyección de tinta

BIBLIOGRAFÍA

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. Papiernik, W. Architecture and Design of Modern CNC/Drive Systems. Article of Intelligent Motion, May, 1996.
5. SINUMERIK 810M. User's guide. SIEMENS AG, 1990.
6. EMCVMC-300 Vertical Milling Center. User's guide. EMCO MAIER GmbH, 1993.