

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO APLICADO A LA TÉCNICA DE IMPRESIÓN 3D MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA

POSITIONING SYSTEM APPLIED TO THE 3D PRINTING TECHNIQUE: MODELING BY FUSED DEPOSITION.

Edgar Absalón Torres Barahona¹
Jersson Xavier León Medina²
Edwin Torres Díaz³

Recibido: Junio 22 de 2012
Aceptado: Diciembre 06 de 2012

Resumen

Este artículo presenta el diseño y construcción de un sistema mecánico de posicionamiento, el cual hace parte de un prototipo mecatrónico que integra las áreas de electrónica, mecánica, control e informática, formando una sinergia conducente a crear una máquina automatizada que responde a las necesidades técnicas y requerimientos de una impresora 3D, aplicando la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida (FDM), para fabricar una pieza diseñada en un software CAD, a través del posicionamiento y la acción de una herramienta extrusora de plástico en tres dimensiones.

La metodología planteada explica paso a paso el diseño y construcción del sistema mecánico de posicionamiento cartesiano tridimensional, en el cual se tienen en cuenta las variables y procesos necesarios para la óptima respuesta de la máquina, en lo concerniente al acabado superficial de la pieza, tiempo de impresión, paradas de emergencia, entre otras.

Palabras Claves: Control de movimiento, impresión 3D, prototipado rápido, sistema mecánico.

Abstract

This paper presents the design and construction of a mechanical positioning system, which is part of a mechatronic prototype that integrates the areas of electronics, mechanics, control and computing, forming a synergy leading to create an automated machine that meets the technical requirements and requirements for a 3D printer, using a rapid prototyping technology (Fused Deposition Modeling: FDM), to produce a part designed on a CAD software, through the positioning and the action of a plastic extruder tool in three dimensions.

The proposed methodology provides, step by step, the design and construction of the mechanical system of three-dimensional Cartesian positioning, which takes into account the variables and processes necessary for optimal response of the machine, with regard to surface finishing, printing time, emergency stops, and so forth.

Key words: Motion Control, 3D printing, rapid prototyping, mechanical system.

¹Ingeniero electromecánico. Msc. Ingeniería mecánica. Profesor asistente, UPTC. E-mail: edgar.torres@uptc.edu.co

²Estudiante de ingeniería electromecánica. E-mail: jersson.leon@uptc.edu.co

³Estudiante de ingeniería electromecánica. E-mail: edwinetd@hotmail.com

^{1,2,3}Grupo en Energía y Nuevas Tecnologías "GENTE". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Facultad Seccional Duitama. Carrera 18 Calle 22, Duitama, Boyacá, Colombia.

1. Introducción

Con el propósito de apropiarse de tecnología y asumir los retos de afrontar un mercado abierto donde el conocimiento, desarrollo e innovación se convierten en los pilares de competitividad y dado que la ingeniería regional debe buscar soluciones a necesidades del mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes a partir del ofrecimiento de productos y servicios, se plantea y desarrolla este proyecto teniendo en cuenta que una de las múltiples áreas en desarrollo corresponde al prototipado rápido (Ardila, 2007) que crea modelos tridimensionales como prototipos o productos terminados.

Esta tecnología se basa en el uso de diferentes procesos como la estereolitografía, sinterización selectiva por láser, manufactura de objetos laminados, fotopolimerización por luz UV, Fusión láser y modelado por deposición fundida, entre otros.

La técnica de modelado por deposición fundida FDM, asumida para el desarrollo de este trabajo, representa una de las principales técnicas para el prototipado rápido, tal y como lo muestran diferentes publicaciones (Pearce et al., 2010), es el caso de un estudio realizado (Pham y Gault, 1998) y publicado en *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, en el que se comparan diferentes tecnologías con respecto al costo y el acabado del modelo impreso, la eficiencia del volumen construido con respecto al volumen de la máquina, las emisiones y el trabajo de post-proceso, mostrando como resultado una favorabilidad en cuanto a costo, volumen de impresión, simplicidad y versatilidad.

Además de las razones anteriormente expuestas, el desarrollo del presente trabajo tiene en cuenta la facilidad de acceso a tecnologías locales, materia prima, y costo para construcción del sistema; también se tiene en cuenta que la construcción de un prototipo de esta naturaleza, permite evaluar la apropiación de tecnología, el

desarrollo de este tipo de sistemas con tecnología local y la técnica de prototipado utilizada.

Así como el modelado sólido 3D facilita el diseño de formas complejas y su representación gráfica, el prototipado rápido permite la fácil materialización de una maqueta real o de un modelo funcional (Gibson, 2005) Por otra parte, la incorporación del prototipado rápido, tecnología proveniente del sector industrial, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, posibilita la transferencia de experiencias de la actividad industrial al aula, por lo que se constituye en una innovación educativa (Heynick, 2006) que además está en línea con el concepto actual de formación basada en competencias.

En cuanto a innovación y desarrollo de estas tecnologías, en el mundo se viene trabajando en temáticas como: la optimización de los sistemas a través del control avanzado para mejorar la precisión y terminado superficial, caracterización y aplicación de nuevos materiales para las diferentes técnicas de PR, aumento en la velocidad de fabricación, aumento en los tamaños de los prototipos, disminución de costos, minimizar efectos de post-proceso, entre otros.

En el artículo se describe el proceso seguido para el desarrollo del proyecto, desde el diseño mecánico hasta la construcción de un prototipo, y su evaluación.

2. Materiales y métodos

En la técnica de prototipado rápido modelado por deposición fundida se parte del modelamiento de la pieza a construir en un software CAD, la conversión de dicho modelo a lenguaje de máquina y el gobierno de una planta para que un filamento plástico se desenvuelva de un rollo y alimente una boquilla de extrusión. La boquilla se calienta para fundir el plástico hasta alcanzar el estado de transición vítreo y mediante un mecanismo de dosificación se controla el flujo del material fundido (Zou et al., 2002). La boquilla se

monta sobre un sistema de posicionamiento tridimensional que ubica las coordenadas X, Y y Z determinadas por la discretización de la pieza y deposita un cordón o gota de plástico para formar cada capa del modelo. La Figura 1 muestra el diagrama del sistema.

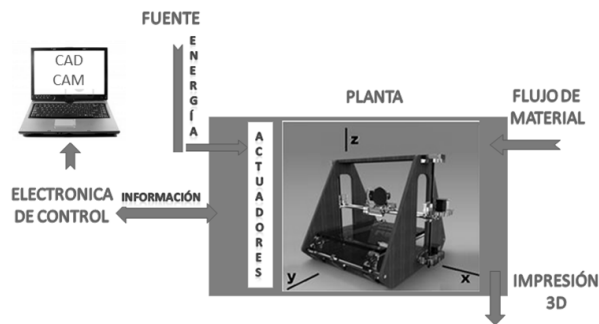


Figura 1. Sistema de prototipado rápido modelado por deposición fundida.

A partir del diseño CAD, el modelo es exportado a formato estándar de prototipado rápido o de estereolitografía con extensión .STL, este formato corresponde a la definición de la superficie que delimita exteriormente al modelo tridimensional mediante una representación triangularizada y en consecuencia adaptada a ella. Cada triángulo es descrito por una dirección perpendicular y tres puntas que representan los vértices del triángulo.

Estos datos son utilizados por un algoritmo seccionador por capas que determina las secciones transversales de la pieza. El anterior proceso se realiza por la conversión del archivo .STL (Kumar, 1997) a código G, que determina las coordenadas de posición para la impresión en 3D, la velocidad de movimiento, distancia entre capas y la actividad del extrusor de material. La Figura 2 muestra una pieza en las diferentes etapas del proceso.

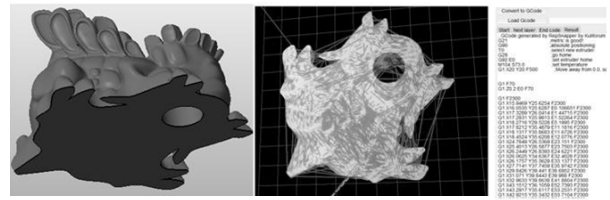


Figura 2. Modelo CAD, Formato .STL y Código G de un modelo creado

Finalmente un software maestro, que integra el código G, configura diversas variables como el tiempo de inicio para puesta a punto, la temperatura de la herramienta de extrusión de material (Vargas, 2004), el avance y retroceso de cada eje, el inicio y las paradas de emergencia (Montero, 2001); la figura 3 muestra el diagrama de flujo de información.



Figura 3. Diagrama de flujo de información para el control del sistema.

2.1 Diseño del sistema de posicionamiento

El diseño toma como base el uso de un sistema referencial cartesiano tridimensional, con movimiento en cada eje gobernado de forma independiente (Ángeles, 2007), teniendo en cuenta que la deposición de material se hace sobre el plano horizontal X, Y y que el desplazamiento vertical Z obedece al espesor de la capa del material depuesto.

2.1.1 Diseño mecánico

El diseño del sistema de posicionamiento utiliza para su desplazamiento el algoritmo de Bresenham (Kenneth, 2002), a partir del cual se garantiza el seguimiento de trayectorias y la minimización del error. Este algoritmo considera para el movimiento entre dos puntos del plano XY, una línea que va desde el punto inicial (x1, y1) hasta el punto (x2, y2), como se muestra en la

figura 4. A partir de estos puntos se calcula $\Delta Px = x_2 - x_1$ y $\Delta Py = y_2 - y_1$, cuyos resultados se comparan para establecer el eje de movimiento; si $|\Delta Px| \geq |\Delta Py|$ se toma x como el eje conductor de lo contrario es el eje y el conductor.

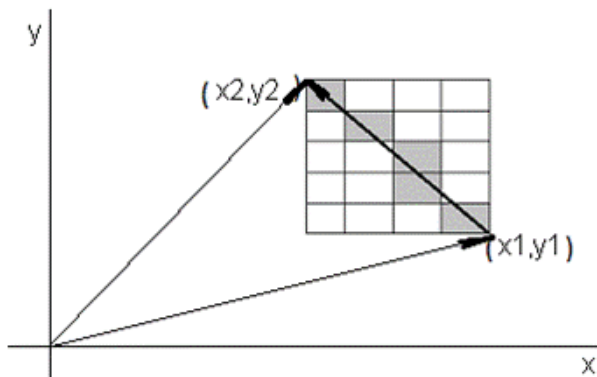


Figura 4. Movimiento establecido según algoritmo de Bresenham

Para determinar el movimiento en el plano XY, se parte de los números reales entregados por el código G, se utilizan coordenadas absolutas a partir de las cuales se define la posición inicial P1 y final P2 del extrusor y se discretiza para determinar las características del desplazamiento; dentro del lazo principal del algoritmo la coordenada correspondiente al eje conductor es incrementada en una unidad y en el otro eje (usualmente conocido como eje pasivo) es únicamente incrementada según la necesidad, atendiendo al siguiente procedimiento:

Se calcula la pendiente m de la línea, la cual está dada por:

$$m = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (1)$$

Se calcula el error inicial, dado por:

$$\epsilon = -[1 - y_1 - m(1 - x_1)] \quad (2)$$

Donde x_1 y y_1 corresponden a las posiciones iniciales en los ejes coordenados.

Con estos resultados, se define el inicio del movimiento desde el punto (x_1, y_1) , y se comienza avanzando una unidad en el eje de movimiento, se

le suma la pendiente al error inicial y se establece si el nuevo valor es mayor que 0, si no es así se continua avanzando en el eje de movimiento y se vuelve a sumar la pendiente, hasta cuando dicha suma llegue a ser mayor que 0, en ese momento se incrementa una unidad en el otro eje y el error se disminuye en una unidad, volviendo a iniciar el proceso hasta encontrar el punto de llegada (x_2, y_2) .

El movimiento en los ejes X y Y está descrito por ΔPx y ΔPy de acuerdo con el algoritmo anterior; en el eje Z el movimiento está definido de acuerdo al espesor de la capa de material depuesto.

2.1.2 Diseño para manufactura

El diseño propuesto tiene en cuenta las recomendaciones de (Chang, 1998), según la cual uno de los objetivos de diseño de un producto tiene que ver con que este sea fácil y económicamente manufacturado, para ello se deben tener en cuenta una serie de reglas tales como: minimizar el número de partes, desarrollar un diseño modular, usar componentes estándar, establecer componentes multifuncionales, seleccionar materiales y procesos de manufactura óptimos, establecer una ruta de ensamble de las piezas y asumir tolerancias apropiadas.

A partir de estas recomendaciones se seleccionan materiales y procesos de manufactura existentes en la región, que permitan un bajo costo y la certeza de que sea posible la implementación del prototipo, con esto el sistema de posicionamiento se compone de cuatro partes principales que son, la estructura soporte y tres ejes que controlan el movimiento en las direcciones X, Y y Z.

Como criterios de diseño se asume la implementación de un sistema con bajo peso, robusto y estético. Por estas razones se elige lámina de madera y materiales estándar para la transmisión de movimiento. Así mismo se asumen una restricción para el volumen de trabajo de 20 x 20 x 20 cm.

2.2. Modelamiento matemático del sistema

Movimiento en el eje X

Este movimiento está gobernado por un motor y un mecanismo piñón-correa dentada que mueve una masa determinada por la suma de los componentes de la herramienta extrusora de material y su estructura soporte, el movimiento esta guiado por rodamientos que se desplazan sobre guías longitudinales, como se muestra en la figura 5.

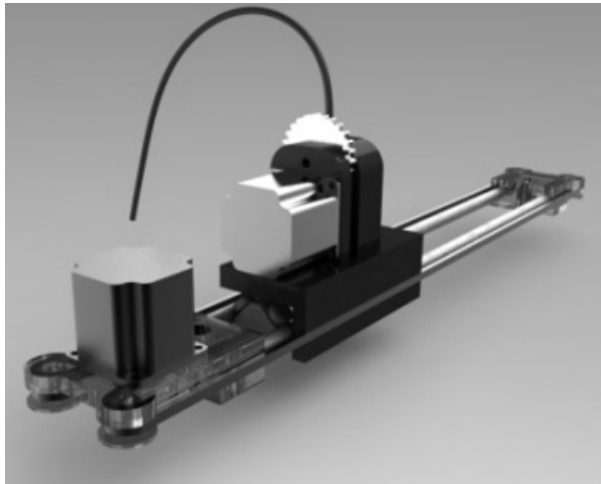


Figura 5. Actuador para movimiento en el eje x

El desplazamiento está determinado por el número de pasos por vuelta del motor y la relación de transmisión dada por el número de dientes del piñón y al paso de la correa, la velocidad lineal es función de la velocidad angular del motor, y del radio del piñón; la potencia del actuador depende de la inercia, y las pérdidas por rozamiento. Los modelos matemáticos para determinar los valores anteriores se describen a continuación.

Desplazamiento

$$\Delta Px = \frac{Nx Pc}{Pm} n1 \quad (3)$$

N = Número de dientes del piñón para el eje
 P_c =Paso de la correa

P_m =Número de pasos por vuelta del motor
 n =Pasos para el movimiento determinado

Velocidad

$$v_x = \omega_{mx} r_{px} \quad (4)$$

v_x = Velocidad lineal del eje x

r_{px} = Radio del piñón eje x

ω_{mx} = Velocidad angular del motor del eje x

Aceleración máxima

$$a_x = \frac{2\Delta v}{\Delta t} \quad (5)$$

Siendo Δv el cambio de dirección de la velocidad en un periodo $T = \Delta t$ de la señal de activación del actuador. Teniendo en cuenta que se usa un motor paso a paso y que la frecuencia de activación establece la velocidad angular del motor la aceleración está dada por:

$$a_x = \frac{2\Delta v}{T} = 2f\Delta v \quad (6)$$

Par motor

$$T_m = T_L * FS \quad (7)$$

Donde T_L es el par de carga y FS es el factor de seguridad que tiene en cuenta los efectos de fricción y desniveles. Este último se estima en 2

$$T_L = r * F \quad (8)$$

La fuerza de arrastre requerida F , tiene en cuenta los efectos inerciales y está dada por el producto entre la masa y la aceleración, teniendo en cuenta las ecuaciones 10,11 y 12.

$$T_m = 2 r m_x f \Delta v FS \quad (9)$$

Movimiento en el eje Y

El eje Y asume las mismas características del mecanismo de transmisión de movimiento determinadas para el eje X y su configuración se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Actuador para movimiento en el eje y

$$\Delta P_y = \frac{N_y P_c}{P_m} n_2 \quad (10)$$

$$v_y = \omega_{m_y} r_{p_y} \quad (11)$$

v_y = Velocidad lineal del eje y

r_{p_y} = Radio del piñón eje y

ω_{m_y} = Velocidad angular del motor del eje y

Movimiento en el eje Z

Este movimiento está gobernado por un motor paso a paso, un sistema de transmisión de movimiento integrado por dos ruedas dentadas que proporcionan movimiento rotacional a un eje transversal, y este a su vez a través de dos mecanismos de tornillo sinfín-rueda dentada ubicados a los extremos del prototipo, proporciona el movimiento a dos varillas roscadas verticales que transmiten el movimiento en la dirección Z. La configuración se muestra en la Figura 7.

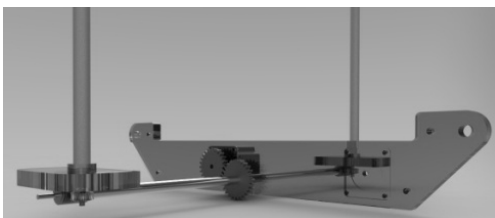


Figura 7. Actuador para movimiento en el eje z

En esta dirección el cambio de posición ΔP_z está determinado por el estado de las coordenadas entregadas por el código G, las cuales varían

según las características del espesor de la capa fundida. El desplazamiento y velocidad está depende del número de pasos por vuelta del motor, la relación de transmisión de los engranes y el paso de la rosca de la varilla vertical, de la siguiente forma:

$$\Delta P_z = \frac{P_t}{P_M N_z} n_3 \quad (12)$$

$$v_z = \frac{1}{2\pi} \frac{\omega_{m_z}}{N_z} P_t \quad (13)$$

N= Número de dientes de la corona

P_t = Paso de la rosca de la varilla vertical

P_m =Número de pasos del motor por vuelta

n=Pasos para el movimiento determinado

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base en el modelo matemático y diseños propuestos se determinan los resultados consignados en la tabla 1:

CARACTERÍSTICA	VALOR
Masa a mover en el eje X	2 Kg
Masa a mover en el eje Y	2,5 Kg
Masa a mover en el eje Z	4 Kg
Velocidad lineal del eje X	30 mm/s
Velocidad lineal del eje Y	30 mm/s
Velocidad lineal del eje Z	2,5 mm/s
Periodo T	4 s
Factor de seguridad FS	3
Par motor en el eje X	13,5 N*cm
Par motoren el eje Y	16,8 N*cm
Par motoren el eje Z	27 N*cm

Tabla 1. Especificaciones técnicas del movimiento de la herramienta de extrusión de plástico en cada eje.

3.1 Selección de Actuadores

Los actuadores seleccionados son motores paso a paso HS 200 2221 de 200 pasos/vuelta, con un par motor máximo de 75N*cm, suficiente para vencer las pérdidas por rozamiento y la inercia del

sistema. Para el control de posición se utilizan sensores fin de curso óptico de barrera, quienes determinan el alcance máximo en cada coordenada y la posición de referencia inicial.

El sistema de control que gobierna el sistema mecánico está basado en primer lugar en un algoritmo que a través de un software maestro envía información a un segundo sistema electrónico correspondiente a una tarjeta de control, éste se encarga de interpretarla y enviar salidas de paso y dirección a unos amplificadores de potencia para el control de los actuadores; finalmente los sensores hacen la debida retroalimentación a la tarjeta de control.

3.2 Construcción del sistema mecánico

La Figura 8 muestra el sistema mecánico diseñado en el software Solid Edge ST4 y el sistema construido según las especificaciones técnicas mostrado en la tabla 2.

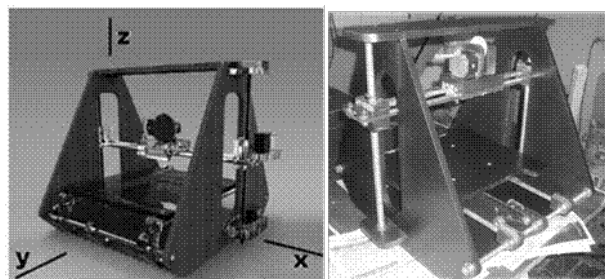


Figura 8. A la izquierda el diseño CAD del sistema y a la derecha la impresora construida

DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA CALCULADA	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA MEDIDA
Movimiento en el eje x	0.400 mm/paso	0.415 mm/paso
Movimiento en el eje y	0.400 mm/paso	0.400 mm/paso
Movimiento en el eje z	0.375 μ m/paso	0.390 μ m/paso

Tabla 2. Especificaciones técnicas del movimiento de la herramienta de extrusión de plástico en cada eje.

3.3 Pruebas al sistema

En la parte izquierda de la figura 9 se muestra una

pieza modelada en Solid Edge ST3, la cual ha sido convertida en formato .STL y llevada a código G e interpretada por el software de control de la impresora; como resultado se han obtenido, como pruebas preliminares, dos capas de impresión hechas con tinta por el sistema construido las cuales se muestran en la parte derecha de la figura 9, donde se aprecia la concordancia entre el modelo diseñado y el producto impreso.

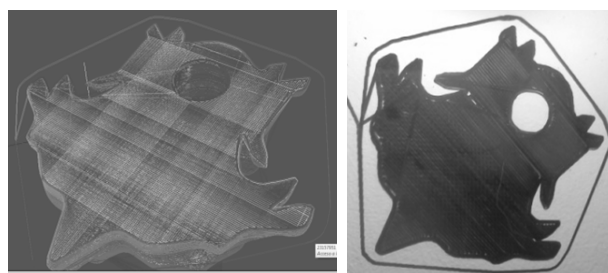


Figura 9. A la izquierda la pieza: STL idealizada y a la derecha la impresión de dos capas de la pieza de prueba

4. Conclusiones

El diseño y fabricación de modelos tridimensionales por prototipado rápido entra a formar parte de procedimientos productivos, por lo que este proyecto da respuesta a los requerimientos en este campo a partir de apropiación y desarrollo de tecnología para atender a las necesidades del entorno regional.

El diseño e implementación del sistema de posicionamiento corresponde a un mecanismo de tres grados de libertad, con una precisión de respuesta que se ajusta a los criterios de diseño definidos.

La estrategia definida para el control del sistema mecánico, considera una primera etapa en la que se hace retroalimentación para posicionamiento a través de sensores on/off; estableciendo una base para el desarrollo posterior de una estrategia de control avanzada, que contemple tanto el posicionamiento como la velocidad de avance por ejes y del sistema de inyección.

Finalmente, el diseño del prototipo y su implementación se convierte en un punto de partida para la construcción de un equipo de aplicación industrial que considere mejoras tanto del sistema mecánico como del sistema de control.

Agradecimientos

A la Ingeniera María Luisa Pinto y al Ingeniero Oliverio Duran por su continua colaboración, comprensión y apoyo durante la realización del trabajo y compartir su conocimiento en temas concernientes en la investigación. De igual forma a los funcionarios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia que fueron involucrados en el proceso de la construcción de la impresora de prototipado rápido.

Referencias

Pearce, J. (2010). 3-D Printing of open source appropriate technologies for self-directed sustainable development. Queen's University 60 Union St., Kingston.

Ardila, J. (2007) .Manufactura por capas: prototipado rápido. Universidad Nacional de Colombia .sede Medellín.

Heynick M, Stotz I. (2006).3D CAD, CAM and Rapid Prototyping. LAPA Digital Technology Seminar Workshop 1: April 06, 07, & 08

Gibson, I. (2005). Rapid Prototyping: A Tool for Product Development. The University of Hong Kong. Computer-Aided Design & Applications, Vol.

2, No.6, pp 785-793.

Montero, et al. (2001). Material Characterization of Fused Deposition Modeling (FDM) ABS by Designed Experiments. Society of Manufacturing Engineers. University of California, Berkeley.

Vargas, H. (2004). Estudio de la calidad superficial en el prototipado rápido, Proceso FDM. Universidad Nacional De Colombia, Bogotá.

Pham, D. y Gault, R. (1998).A comparison of rapid prototyping technologies. International Journal of Machine Tools & Manufacture. pp1257–1287.

Kumar, V. Dutta, D.(1997), "An assessment of data formats for layered manufacturing", Advances in Engineering Software, pp 151–164.

Kenneth I. (2002). Breshenham's Algorithm. Visualization and Graphics Research Group. Department of Computer Science. University of California.

Chang, T., Wysk, A. & Wang H. (1998). Computer-Aided Manufacturing, Second Edition. pp 596 to 598. Prentice Hall.

ZOU Guolin et al. (2002), Analysis on Influence Factors of Extrusion Filament Process of FDM Dalian University of Technology, Manufacturing Technology & Machine Tool;

Angeles, J. (2007), Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms, 3rd ed, Springer Science+Business Media, pp49-52.