

Diseño de una interfaz para la producción de fisiogramas en el espacio R3 de un robot

Francisco Eugenio López Guerrero, Horacio Martínez Calderón,
Rafael Baruc Almaguer López, Adrián Emmanuel García Solís
Cuerpo Académico de Sistemas Integrados de Manufactura
Prof.Dr.Elopez@gmail.com

RESUMEN

Un fisiograma es el registro fotográfico de la trayectoria de una fuente luminosa en movimiento. Se hace tomando una fotografía y dejando abierto el obturador de la cámara mientras se realizan trazos con la luz en el aire.

Este trabajo presenta el diseño y la construcción de una interfaz para la creación de fisiogramas con un robot dotado de una fuente de luz RGB. Mientras el robot mueve la luz, la trayectoria de ésta es capturada por una cámara fotográfica. La luz cambia de color durante el movimiento conforme al ángulo de inclinación de la pinza del robot con el uso de una unidad de medición inercial (IMU). El movimiento del robot es programado en base a figuras hechas en aplicaciones de dibujo por computadora.

La interfaz incluye el control del robot para el disparador de la cámara y las transformaciones geométricas necesarias para que la figura pueda ser adaptada al volumen de trabajo del robot. Como resultado se muestran los dibujos de línea (clip-art) y los fisiogramas de figuras en el espacio R3 del robot.

PALABRAS CLAVE

Fisiograma, robot, unidad de medición inercial, disparador de cámara remoto.

ABSTRACT

A physiogram or light painting is a photographic technique in which exposures are made by moving a light source (or the camera).

This work presents the design and construction of an interface for physiograms made with a robot equipped with a RGB LED. The LED is controlled with a inertial measurement unit (IMU), and the light color changes with the robot's wrist angle. The trajectories of the robot are drawn in a commercial CAD program.

The interface includes a shutter camera control for the robot, and all geometric transformations needed to fit the CAD files in the R3 robots workspace. As result some physiograms and clip-arts are presented.

KEYWORDS

Light painting, robot, inertial measurement unit, remote camera shutter.

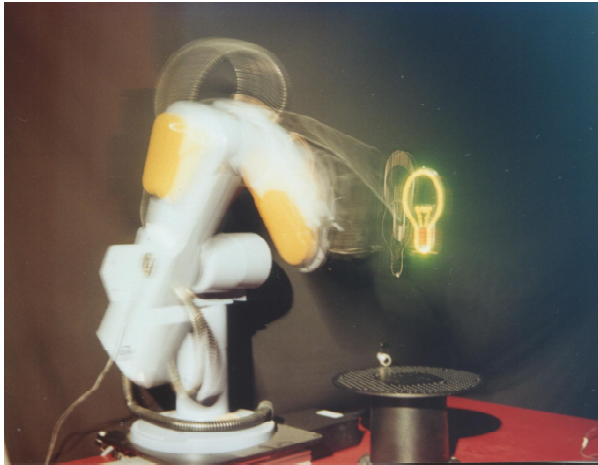


Fig. 1. Fisiograma resultado del robot haciendo la trayectoria de un clip-art hecho en la aplicación de dibujo CorelDraw.

INTRODUCCIÓN

La sociedad actual está altamente estimulada a través de los sentidos del sonido y la imagen por sobre el resto. Los avances de la ciencia y la tecnología se han encargado de ello, además de parecer capaces de realizar hasta la más insólita de las tareas¹ o satisfacer la más mínima de las necesidades.²⁻⁴ Los elementos tecnológicos han sido también utilizados como una herramienta en la forma de expresión.⁵⁻⁷

Según Wikipedia, se llama aerosol, pintada o grafiti a varias formas de inscripción o pintura, generalmente realizadas sobre mobiliario urbano. En el lenguaje común, el grafiti es el resultado de pintar textos abstractos en las paredes de manera libre, creativa e ilimitada con fines de expresión y divulgación, como parte de un movimiento urbano.

Un fisiograma, popularmente conocido como “light painting” (o pintura de luz), es el registro fotográfico de la trayectoria de una fuente luminosa en movimiento en un ambiente con poca luz. Es para efectos prácticos un grafiti virtual.

La técnica de lightpainting existe desde el siglo pasado, y actualmente se ha enriquecido conforme a la modernidad tecnológica en cámaras, lentes y dispositivos para generar luz. No es nueva la idea de utilizar un mecanismo, robot⁸⁻¹⁰ o vehículo autónomo o controlado remotamente¹¹ para hacer fisiogramas. En lo que a robótica se refiere, el trabajo de Clemens

Weisshaar and Reed Kram⁸ en Trafalgar Square merece especial mención.

Estas premisas y el espíritu reflexivo e innovador de los autores dieron origen a trabajar con estudiantes de ingeniería relacionados con el diseño y experiencia estéticos, persiguiendo ampliar las fronteras del acto creativo, en el proceso de diseño y construcción utilizando los recursos tecnológicos más modernos a su alcance.

Este trabajo no entra al debate sobre las cualidades artísticas de los objetos, métodos y procesos, pero como contribución ofrece un panorama de aplicación de herramientas de creación de última tecnología.

El objetivo principal es construir un sistema automatizado para la realización de fotografías de lightpainting (fisiogramas) utilizando un brazo robot con una fuente de luz con color controlado. Para lograrlo es necesario alcanzar las siguientes metas:

- Diseñar un sistema de luz que cambie de color conforme al ángulo de inclinación de la gravedad terrestre.
- Diseño y elaboración de un programa de transformaciones geométricas para que el robot trace figuras de computadora en su espacio de trabajo.
- Construir un sistema para que el robot dispare una cámara fotográfica DLSR y realice los fisiogramas de manera automatizada.

El presente proyecto apoya los trabajos desarrollados por los autores sobre optimización geométrica, en el desarrollo de un sistema que permita la manipulación de objetos de geometría compleja.

METODOLOGÍA

Para la realización de los fisiogramas es necesario considerar algunas variables que influyen en la estética de éste¹². En la mayoría de las aplicaciones se consigue un buen fisiograma cuando las condiciones son de poca o nula luz. Las consideraciones la estética son subjetivas y dependen del gusto o criterio del autor del fisiograma. Algunas consideraciones de estética son:

- Las condiciones de iluminación ambientales juegan un papel determinante para conseguir la figura del trazo con contraste y, si se desea,

que en la fotografía aparezcan los objetos a su alrededor.

- La velocidad de movimiento de la fuente de luz influye en la definición del trazo.
- La intensidad de la fuente de luz debe ser acorde a la iluminación ambiental.
- El tamaño de la fuente de luz con respecto al tamaño de la figura a trazar.
- La estética global del efecto final es subjetivo al criterio del observador.

Por medio de ensayos y error se ajustaron los valores de velocidad de movimiento de la fuente de luz y el tiempo de exposición de la cámara, haciendo éstas acorde a las condiciones fijadas por el ambiente en donde está instalado el robot. El tamaño de la figura de trazo está determinado por el espacio de trabajo del robot. El tamaño y la intensidad de la fuente de luz están determinados por los valores de construcción del diodo emisor de luz.

La metodología utilizada fue en las etapas listadas a continuación:

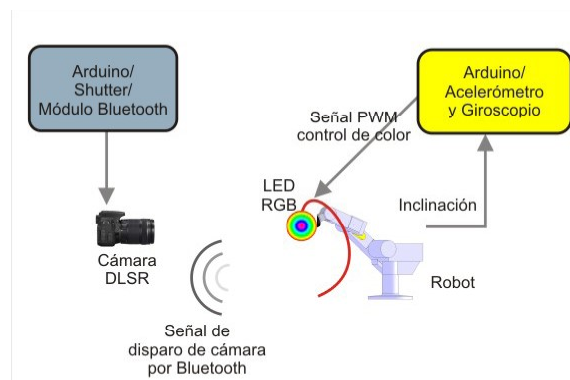


Fig. 2. Situación de la solución planteada para la elaboración de fisiogramas.

1. Modelo cinemático del robot. Obtener los valores tecnológicos de la arquitectura del robot para adaptar la información de trazo deseado a condiciones que den un resultado estético.
2. Fuente de luz de color controlado. Diseño y construcción de la fuente de luz utilizando un diodo emisor de luz RGB, controlado por una unidad de medición inercial. Esto permite al robot cambiar el color del haz de luz simplemente inclinando la pinza con respecto al vector de gravedad terrestre.

3. Disparador de cámara DLSR. Diseño y construcción de un disparador para una cámara DLSR por medio de bluetooth, permitiendo al robot activar la cámara al inicio del movimiento en el momento apropiado. Ver referencia ¹³.
4. Tratamiento de datos. Programación de una interfaz de usuario para convertir un archivo de tipo clip-art en un programa del robot.

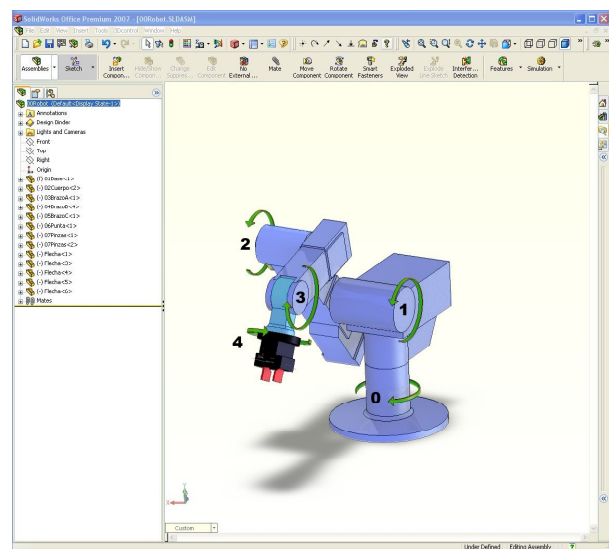
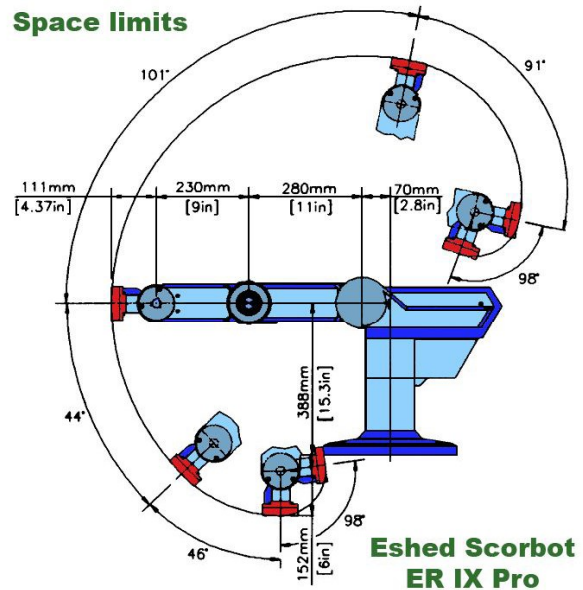


Fig. 3. Dimensiones del robot utilizado: (a) dimensiones de construcción según el manual del robot y (b) reconstrucción por computadora utilizando software de CAD. Se destacan las articulaciones.

MODELO CINEMÁTICO DEL ROBOT

Sea $\{L\}$ (ecuación 2) el vector de valores de construcción según la información de la figura 3a y $\{\theta\}$ (ecuación 3) el vector de valores de posición según la información de la figura 3b. La ecuación (1a) calcula la traslación para cualquier sistema local de coordenadas, mientras que las ecuaciones (1b, 1c, 1d) calculan las rotaciones X, Y, Z de los ejes locales con respecto al sistema universal.

$$T(\Delta x, \Delta y, \Delta z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{ec. 1a})$$

$$R_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{ec. 1b})$$

$$R_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{ec. 1c})$$

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{ec. 1d})$$

Los valores de distancia entre cada articulación de la cadena son:

$$L^T = (388 \ 39.92 \ 70 \ 280 \ 230 \ 111 \ 131) \quad (\text{ec. 2})$$

Que incluye la compensación de la pinza (cota no dada en la figura 3a). El valor 39.92mm es el valor dimensional de profundidad normal al plano de la figura 3a y puede apreciarse como la distancia entre el eje de la articulación 0 y el de la articulación 3 en la figura 3b.

Los valores angulares están dados por la constante de resolución del codificador angular y el valor numérico del contador de pulsos:

$$\theta_i = \frac{2\pi}{4096} \cdot \text{Encoder}_i \quad (\text{ec. 3})$$

La matriz $\{TG\}$ representa las transformaciones geométricas de los ejes locales de cada articulación.

$$\begin{aligned} TG_0 &= T(0, L_0, 0) * Ry(\theta_0) \\ TG_1 &= T(L_1, 0, 0) * T(0, 0, L_2) * Rx(\theta_1) \\ TG_2 &= T(0, 0, L_3) * Rx(\theta_2) \\ TG_3 &= T(0, 0, L_4) * Rx(\theta_3) \\ TG_4 &= T(0, 0, L_5) * Rz(\theta_4) * T(0, 0, L_6) \end{aligned} \quad (\text{ec. 4})$$

La multiplicación de las transformaciones geométricas mostradas en la ecuación 4 representa el modelo del mecanismo.

$$TGT = TG_0 * TG_1 * TG_2 * TG_3 * TG_4 \quad (\text{ec. 5})$$

TGT es también una matriz homogénea 3D, por lo que las coordenadas del punto central de la pinza TCP es la columna resultado de la matriz.

$$TCP = TGT <3> \quad (\text{ec. 6})$$

Los alcances del TCP según los grados de libertad (GDL) generan el volumen de trabajo que se muestra en la figura 4a. Los planos de trabajo para las trayectorias 2D de fisiogramas deben estar contenidos en este volumen. Existe un número n de planos que cumplen con esta condición de alcance del TCP. En la figura 4b se muestran tres calculados a partir de los límites medidos que se muestran en la tabla I.

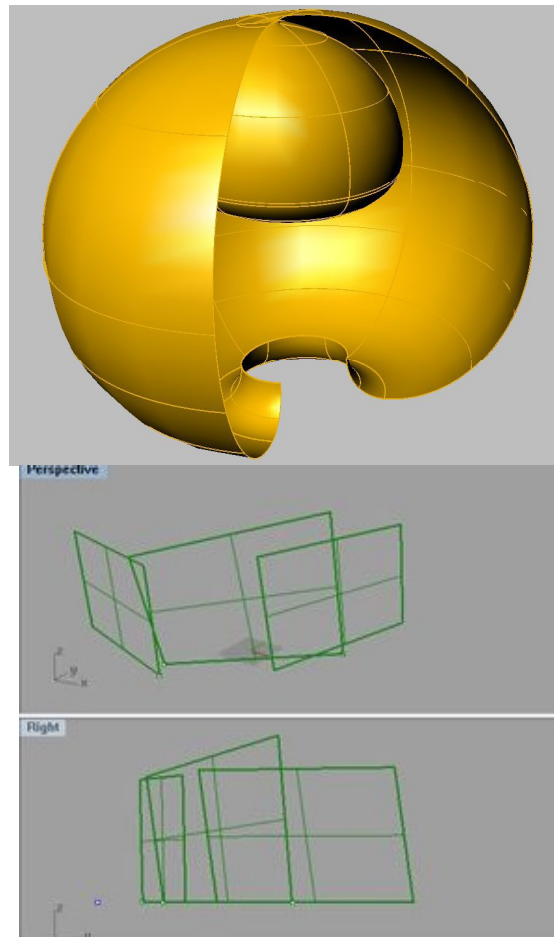


Fig. 4. Espacio de trabajo del robot: (a) Volumen máximo teórico considerando todos los GDL de la figura 3a y (b) Planos de trabajo experimentales trazados dentro del volumen máximo teórico (ver tabla I).

Los límites presentados en la tabla I fueron encontrados experimentalmente, posicionando el brazo en un punto en posición relajada y llevando el TCP a diferentes valores calculados de puntos en el plano.

Tabla I.- Coordenadas medidas del volumen de trabajo del robot para generar los planos principales.

Plano	Punto	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Frontal	VTF0	98.156	-588.618	255.942
	VTF1	285.408	-436.232	303.713
	VTF2	272.623	-454.543	525.531
Lateral derecho	VTD0	486.176	-306.897	280.294
	VTD1	560.636	-83.583	311.159
	VTD2	556.995	-123.113	597.026
Lateral izquierdo	VTI0	-212.143	-536.839	344.305
	VTI1	41.403	-598.673	339.094
	VTI2	339.094	-543.257	620.91

Más adelante, en la sección dedicada al algoritmo de generación de código de movimiento para el robot, se muestra el cálculo de los planos en base a los valores de la tabla I.

FUENTE DE LUZ DE COLOR CONTROLADO

El sensor de velocidad angular es llamado giroscopio y el sensor de aceleración lineal es llamado acelerómetro. La utilización de acelerómetros y giroscopios para la determinación de posiciones angulares y estabilidad de sistemas de navegación inercial es cada vez más frecuente. Estos dispositivos de bajo costo pueden ser fácilmente incorporados en una unidad de medición inercial. La principal dificultad es que las medidas de orientación obtenidas por el giroscopio acumulan error con el paso del tiempo, por lo que hay que implementar un algoritmo de corrección de error para reducirlo.

El acelerómetro es usado para medir la inclinación con respecto a la gravedad. El eje horizontal corresponde a una medición de aceleración cuyo valor es igual a cero. La posición vertical corresponde al valor de 1g. La ventaja del acelerómetro es que siempre tiene a la gravedad como referencia para obtener la inclinación. Su desventaja es la sensibilidad a otras aceleraciones debido a la sacudida o movimiento. Es posible suprimir aceleraciones parásitas por medio de un filtrado

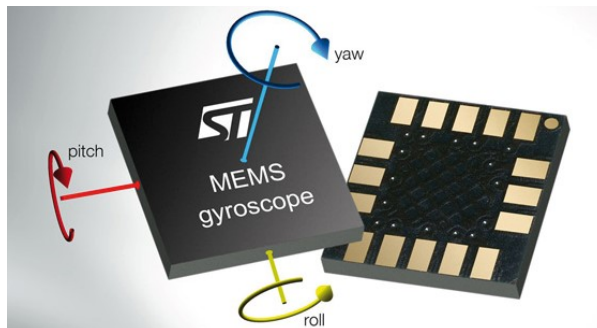


Fig. 5. Representación gráfica de los valores vectoriales a sensor con un giroscopio y su relación con los niveles RGB del LED usado en este trabajo.

realizado con programación.¹⁴ Se puede medir la inclinación con un acelerómetro en el eje horizontal utilizando la función trigonométrica tangente. Por lo tanto, medimos la aceleración en el eje perpendicular y en el plano paralelo a la superficie de la Tierra. La figura 6 muestra el comportamiento del acelerómetro y del giroscopio por separado.

Combinación de los sensores

El giroscopio es muy exacto en un periodo de tiempo corto pero para periodos largos de tiempo,

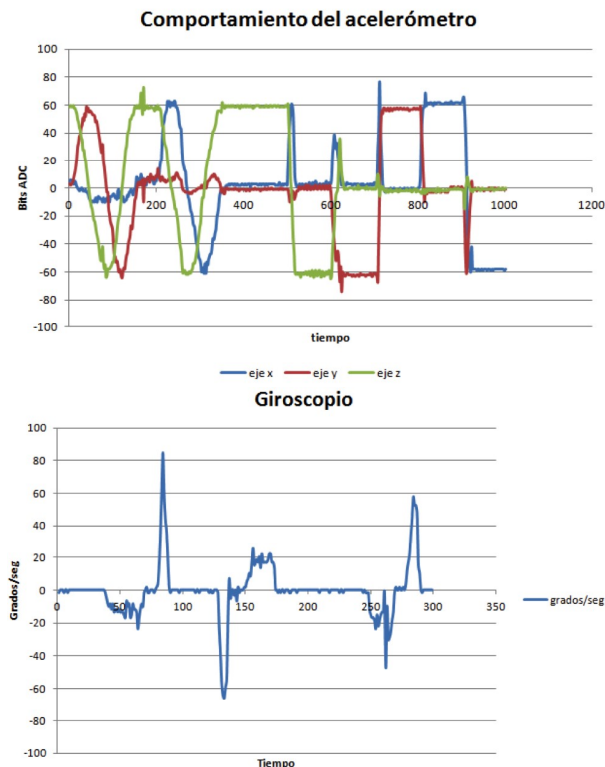


Fig. 6. Señal medida del (a) acelerómetro y (b) giroscopio.

es inutilizable debido al error acumulado. El error del acelerómetro es estable durante el tiempo pero es más grande que el error del giroscopio.

Ambos sensores se encuentran en el mismo eje y miden la misma magnitud. El valor de salida del giroscopio es restado del valor de rotación absoluto del sensor. Producto de esto es equivalente a integrar el error del giroscopio con ruido del valor de rotación absoluto del sensor. El filtro implementado elimina el ruido y la salida de este filtro es la estimación de la integral del error. La salida del giroscopio es restada por esta estimación. El resultado es una señal sin error de integración y sin ruido.

Condiciones de filtrado

La condición para que la información del acelerómetro sea útil, es que el acelerómetro sólo sea sometido a la aceleración de la gravedad y no a las aceleraciones de movimiento del robot que alteraría

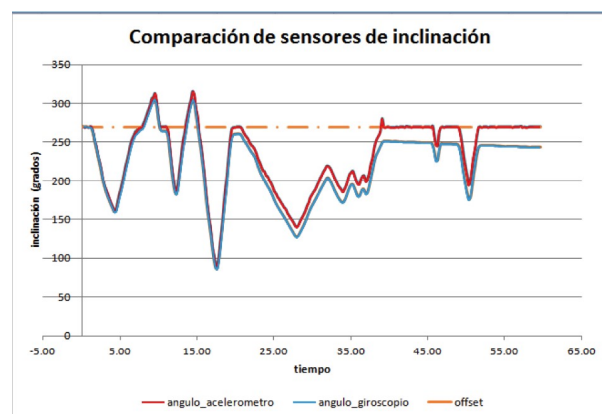
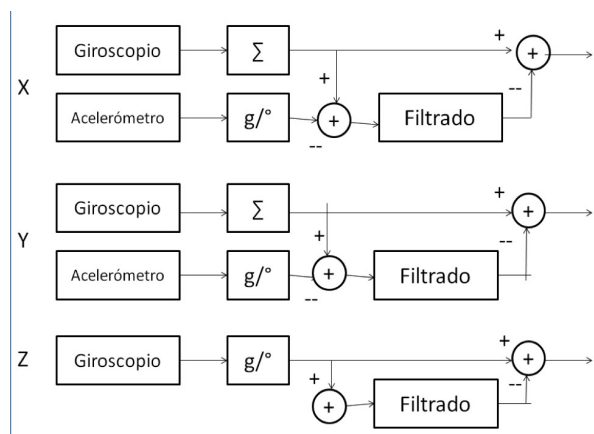


Fig. 7. Condiciones de filtrado del sistema de la unidad de medición inercial: (a) diagrama a bloques del flujo de información y (b) señal resultante en experimentos preliminares.

el vector resultante de aceleración que actúa sobre el sensor debido a que modifican el ángulo calculado con respecto a este mismo vector.¹⁵

Rango de colores del sistema

Últimamente la tecnología LED ha alcanzado un gran auge debido a la gran cantidad de ventajas que posee en comparación a la iluminación proporcionada por otros dispositivos tradicionales como los focos y lámparas. Algunas de estas ventajas son: los LED poseen un mayor tiempo de vida, un significativo ahorro de energía, mayor flexibilidad en aplicaciones de uso rudo y también su bajo costo.

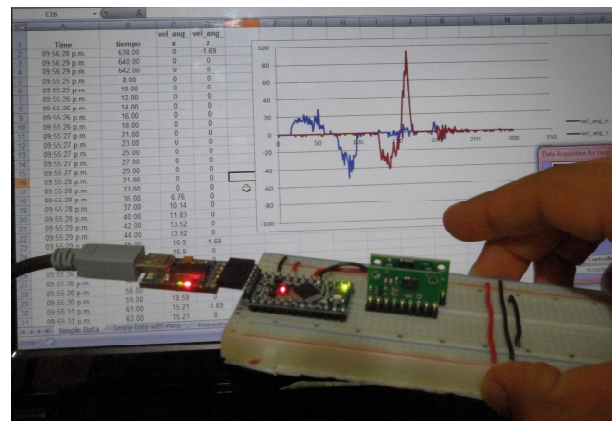
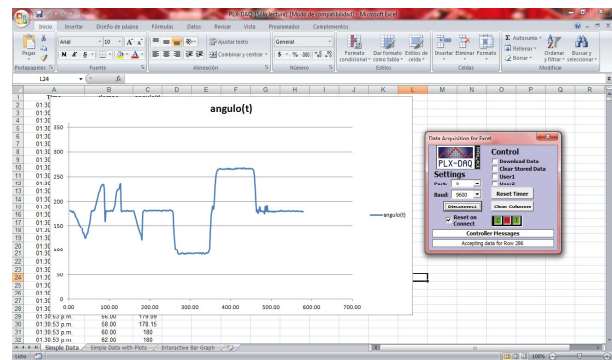


Fig. 8. Integración de la señal de salida de la unidad de medición inercial con Excel.

Los sistemas de iluminación con LEDs RGB se están haciendo bastante populares e impulsados de la mano de la visualización digital, debido a la amplia gama de colores que se puede generar.

Las componentes vectoriales de un sistema RGB son proporcionales a la representación cromática de cada color que el LED es capaz de proporcionar.

El sistema aquí descrito se puede emplear en distintas aplicaciones en las que se desea buscar una

amplia gama de colores para la iluminación, con un control por medio de la variación de la posición angular del dispositivo. ¹⁶

La figura 9a muestra la intensidad de los colores primarios (rojo, verde y azul) necesaria para generar la gama de colores que puede tomar el LED. ¹⁷ La figura 9b muestra la coloración resultante en la trayectoria debido al control utilizando la unidad de medición inercial.

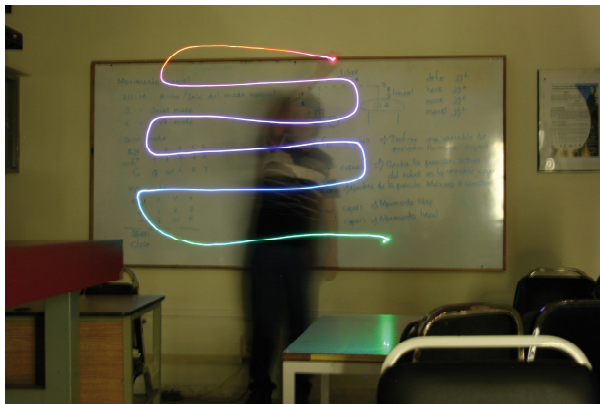
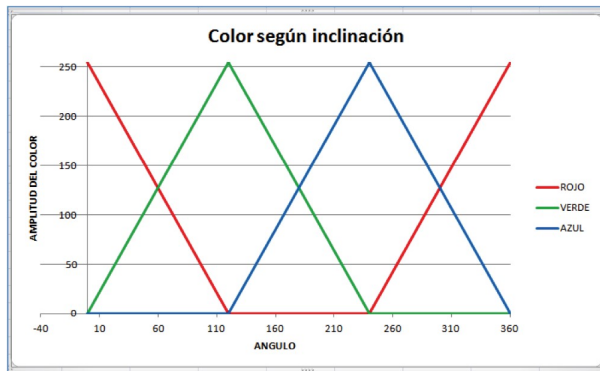


Fig. 9. Relación de las componentes de luz contra el ángulo de inclinación del control basado en la unidad de medición inercial: (a) valores numéricos RGB del LED vs ángulo de inclinación del dispositivo con respecto a la gravedad y (b) fisiograma utilizando el dispositivo terminado.

DISPARADOR DE LA CÁMARA DLSR

Esta etapa del trabajo consiste en la elaboración de un disparador remoto el cual controla el momento de apertura del obturador de la cámara haciendo uso de la tecnología Bluetooth, ¹⁸ eliminando el uso de las conexiones mediante cables lo cual en consecuencia brinda libertad de posicionamiento a la cámara.

El diseño del disparador remoto, está basado en un Arduino Pro mini 328 5v/16 MHz. El programa

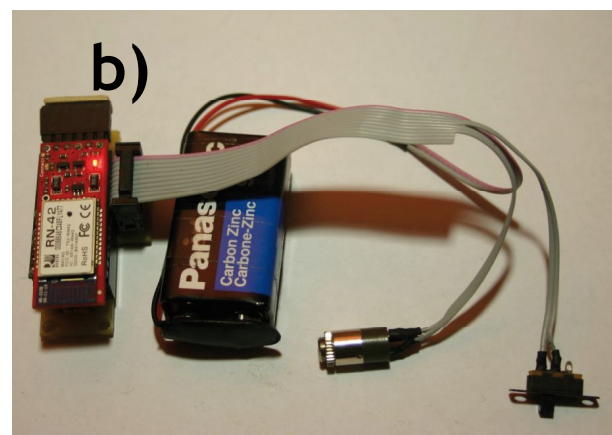
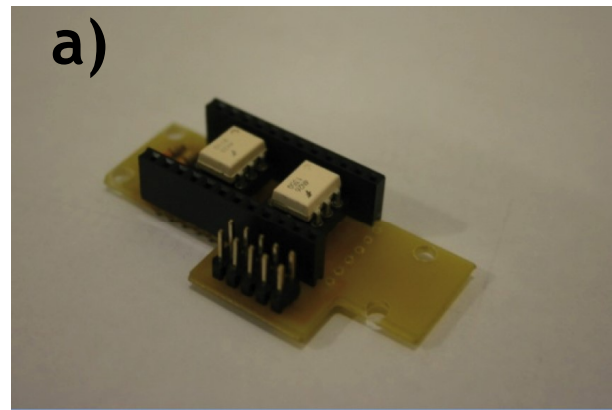


Fig. 10. Disparador para la cámara fotográfica DLSR: (a) Tarjeta desarrollada para el Arduino Mini, y (b) tarjeta completa con el módulo Bluetooth. Nótese que en el diseño se minimizó el tamaño.

ejecuta diferentes comandos recibidos vía Bluetooth, como en las referencias. ¹⁹⁻²¹

El propósito es hacer un proceso semiautomático [ver referencia ²²] para tomar fotografías, donde el usuario ingresa un intervalo de tiempo, ya sea en segundos o minutos, que conforman un lapso de tiempo de espera entre fotos. Un bit del puerto de salida controla la función de enfoque (Focus); otro bit del puerto controla el disparo (Shutter). Estos bits del puerto se definieron como comandos y se les asignó con las letras “s” y “f”. La sintaxis completa de comando es :

$$\text{'<' + "comando" + '>'}$$

En donde los símbolos ‘<’ y ‘>’ son el inicio y final de la cadena de caracteres del comando. El listado de los comandos con su sintaxis, descripción y significado se muestran en la tabla II.

Tabla II. Comandos del disparador para el control de la cámara.

NOMBRE	VAR	CMD	DESCRIPCION
Apagado	Off	“a”	Apaga las acciones de shutter y auto focus.
Shutter	Sh	“o”	Abre el obturador.
Auto Focus	Af	“f”	Activa el focus y lo apaga después de un segundo, después abre el obturador en repetidas ocasiones.
Segundos	Seg	“s”	Al ejecutar el comando se guarda el valor numérico en la variable segundos.
Minutos	MM	“m”	Al ejecutar el comando se guarda el valor numérico en la variable minutos.
Número de fotos	NumFotos	“@”	Al ejecutar el comando se guarda el valor numérico en la variable fotos.
Disparador	Disparador	“d”	Abre el obturador repetidas veces.
Continuar	Run	“u”	Continúa la ejecución del programa después de una pausa.
Salir	Stop	“z”	Termina la ejecución del programa, inicializa las variables de tiempo y numero de fotos en 0.
Pausa	Pausa	“p”	Suspende la ejecución del programa.
Enfocar	As	“q”	Activa el Focus y después de un segundo abre el obturador.
Solamente enfocar	AS	“x”	Activa el Focus y después de un segundo abre el obturador. Al pasar medio segundo cierra el obturador.

TRATAMIENTO DE DATOS: DEL DIBUJO POR COMPUTADORA A LA GENERACIÓN DEL PROGRAMA DEL ROBOT

El tratamiento de datos consiste en calcular las coordenadas del TCP a partir de las coordenadas de dibujo y el cambio de formato en la información proveniente del dibujo a comandos de movimiento y control de periféricos para el robot. La figura 12

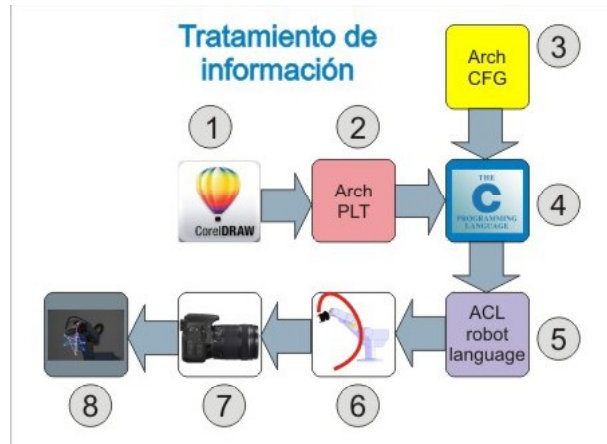


Fig. 11. Diagrama a bloques del flujo de información y tratamiento de datos en las diferentes etapas del proceso de elaboración de un fisiograma.

muestra en etapas numeradas los procesos para lograrlo.

1. Dibujo hecho por computadora con un programa comercial. Para este trabajo se utilizó CorelDraw.
2. El dibujo es exportado a un archivo PLT en formato de lenguaje de descripción de gráficos de Hewlett & Packard.²³
3. El archivo de configuración CFG del robot. Las variables contenidas en el archivo son: el vector de puntos {P} para el cálculo de los planos de trabajo, la velocidad de movimiento y un retardo de arranque.
4. Con la información de (3) el algoritmo de conversión (ver pseudocódigo) arroja como resultado un archivo ACL con código para el robot.
5. El código de movimiento es suministrado al robot.
6. Con el archivo ACL ejecutándose en el sistema operativo del robot, el robot activa el disparador de la cámara y mueve la fuente de luz.
7. La cámara posicionada de manera conveniente y estable recibe el comando (ver tabla II) y registra el fisiograma.
8. Fisiograma resultado.

En la figura 13 se muestra el vector de puntos {P} para la elaboración del plano de una trayectoria de Bezier. La figura 13b es una fotocomposición que muestra de forma clara este proceso de cálculo.

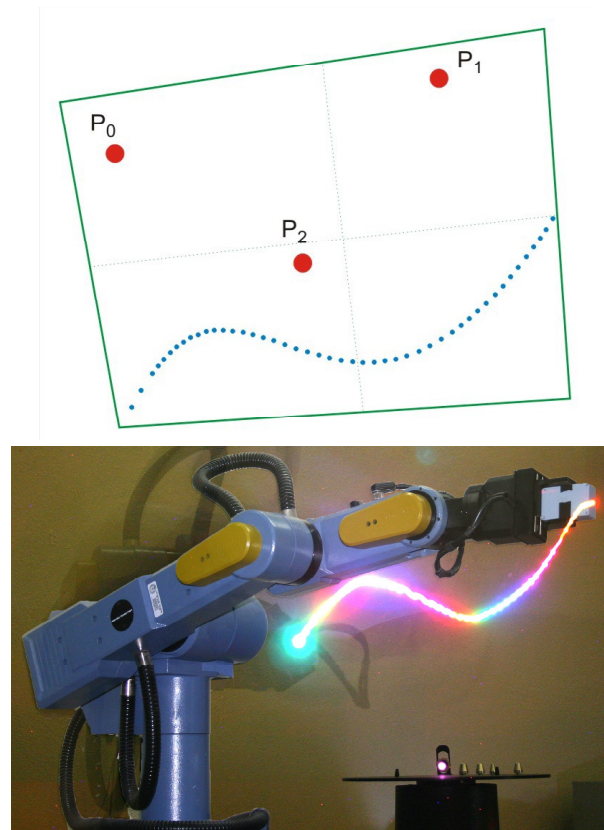


Fig. 13. Planos de trabajo experimentales para los fisiogramas: (a) cálculo del plano para una trayectoria en base a $\{P\}$ y (b) fotocomposición del experimento con los valores de 13a.

El algoritmo de conversión (ver figura 14) para calcular las coordenadas del TCP a partir de las coordenadas de dibujo utiliza el cambio de base con una matriz M de rotaciones y escalamiento que contiene los vectores del sistema de coordenadas locales:

$$V_1 = \frac{P_1 - P_0}{|P_1 - P_0|}, V_2 = \frac{P_2 - P_0}{|P_2 - P_0|} \quad (\text{ec. 7})$$

$$N = V_1 \times V_2$$

$$\begin{aligned} \text{EjeX} &= V_1 \\ \text{EjeZ} &= N \end{aligned} \quad (\text{ec. 8})$$

$$\begin{aligned} \text{EjeY} &= \text{EjeX} \times \text{EjeZ} \\ M &= [\text{EjeX}, \text{EjeY}, \text{EjeZ}] \end{aligned} \quad (\text{ec. 9})$$

$$P_T = M \cdot P_i + O$$

Donde

P_T : punto proyectado en el plano en R3

M : matriz de transformación

P_i : punto de la geometría de computadora

O : origen cartesiano local al plano igual a P_0

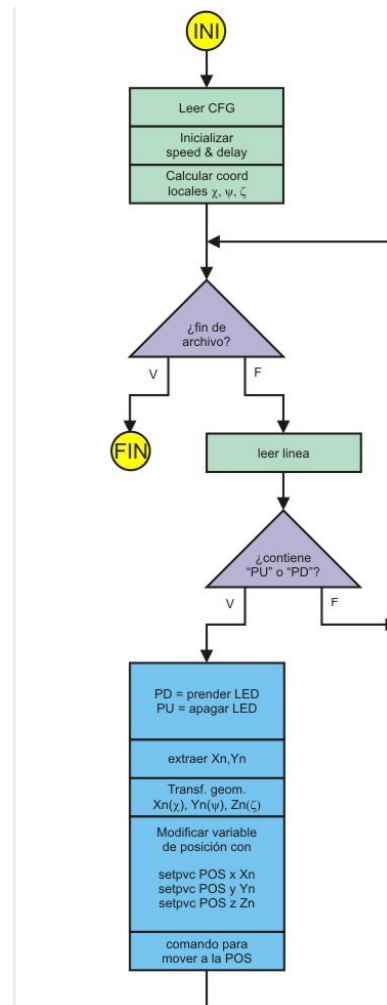


Fig. 14. Diagrama de flujo para el algoritmo de conversión de coordenadas de dibujo al plano de trabajo del robot.

Los detalles de conversión de formato pueden mostrarse mejor por medio de un pseudocódigo:

```

Leer el archivo de configuración CFG
Inicializar las variables de velocidad y retardo
Calcular el plano de trabajo con {P}=(P0,P1,P2),
Leer los límites max y min del volumen de trabajo
Calcular las coordenadas locales al robot M=[x, y, z] con ecuación 8
Mientras no sea fin de archivo PLT bidimensional
  Leer renglón del archivo
  ¿contiene la cadena "SP"?
    Leer el dígito de la plumilla
    Girar la pinza del robot
  ¿contiene la cadena "PU" o "PD"?
    Prender (PD) o apagar (PU) el LED
    Extraer del renglón las coord nuevas Xn, Yn
    Calcular transformaciones de Xn(x), Yn(y), Zn(z)
    Modificar los valores de la posición del robot con
      Setpvc POS x Xn
      Setpvc POS y Yn
      Setpvc POS z Zn
    Escribir en programa el comando de movimiento
    
```

En la figura 15 se muestra gráficamente la operación del algoritmo.

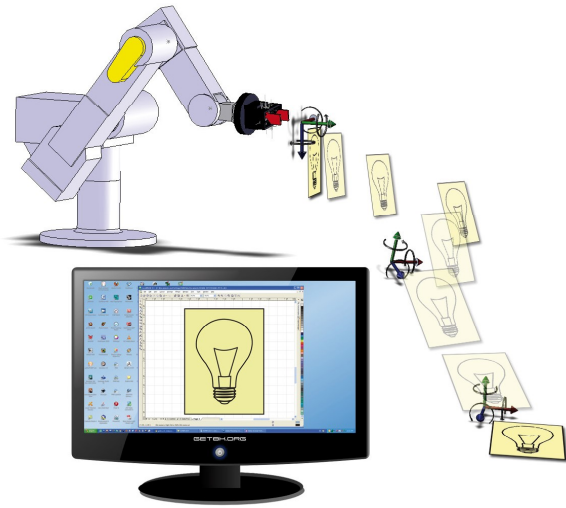


Fig. 15. Representación de las transformaciones geométricas y generación de código ACL para el robot.

RESULTADOS

A continuación se presentan algunos fisiogramas resultado de este trabajo:

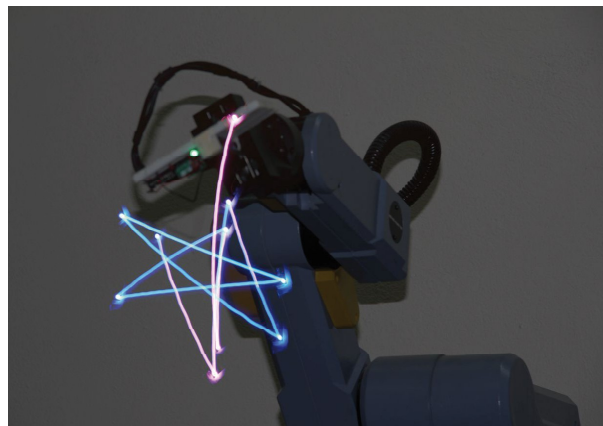
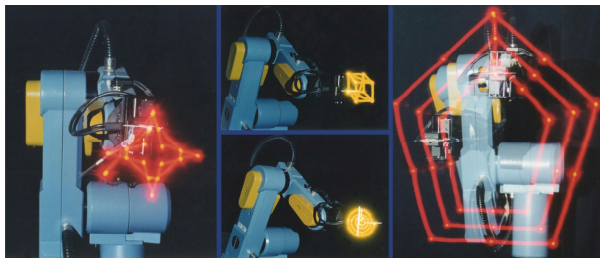


Fig. 16. Ejemplo resultado de fisiogramas preliminares. (a) con control de color monocromático y (c) control policromático.

Utilizando la misma metodología se ha iniciado la versión tridimensional. La figura 17 muestra una superficie de tensor hecha con curvas de Bezier. La figura 18a muestra una figura 3D realizada con un programa de CAD. La figura 18b muestra el fisiograma hecho con la nube de puntos del archivo 3D discretizado con triángulos.

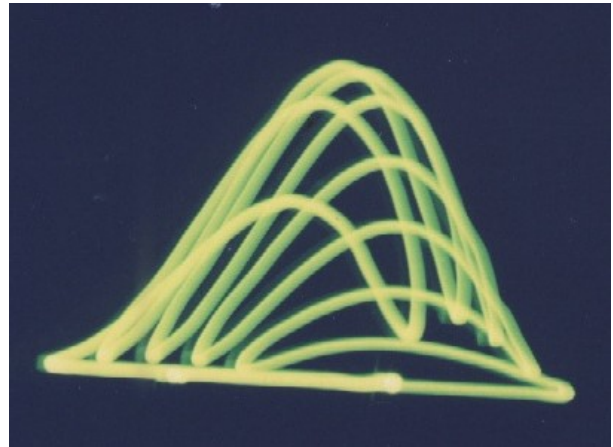


Fig. 17. Fisiograma de una superficie de tensor hecha con curvas de Bezier.

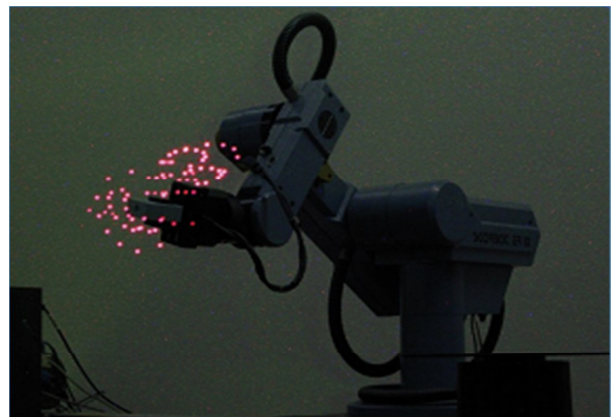
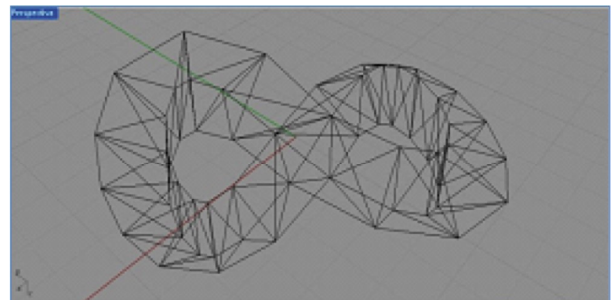


Fig. 18. Prueba preliminar de aplicación 3D. (a) Geometría 3D discretizada con triangulaciones y (b) Fisiograma en forma de nube de puntos de los vértices de los triángulos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se diseñó e implementó una metodología para la producción de fisiogramas en el espacio R3 de un robot. Se obtuvieron las coordenadas de los planos de fisiogramas 2D contenidos en el volumen de trabajo del robot. Se desarrolló un algoritmo de transformaciones geométricas para la proyección de geometrías de computadora en el espacio del robot. Se encontraron los valores de ajuste para una cámara fotográfica DLSR. También se desarrolló con éxito un control electrónico inalámbrico para que el robot active la cámara. Finalmente se desarrolló una fuente de luz de color variable basada en una unidad de medición inercial para que -utilizando el ángulo de inclinación de la pinza del robot con respecto a la gravedad terrestre- la fuente de luz cambie de color.

Finalmente se obtuvieron fisiogramas con relativa buena estética.

Los valores de los resultados arrojados en este trabajo permiten hacer las siguientes consideraciones para mejoras a futuro:

- Utilizar diferentes filtros de densidad neutra para oscurecer el ambiente y/o aumentar el tamaño del código y la velocidad de movimiento.
- Hacer pruebas estéticas con diferentes tipos de lentes objetivo, como grandes angulares.
- Mejora en la automatización del proceso de transferencia de código para poder hacer dibujos más complejos.²⁴
- Las pruebas preliminares con geometrías 3D de CAD permiten suponer un mejor éxito si se estructuran los procesos tanto como los de 2D.
- Hacer una clasificación para diferentes tipos y clases de fisiogramas.
- Hacer un cuadro de contrastación para diferentes aplicaciones.

Se espera, sin embargo, que los alcances del trabajo aquí presentado puedan ser utilizados con supervisión de artistas gráficos para la creación de fisiogramas de geometría y colorido complejo, así como la posibilidad de montaje en exposiciones locales.

RECONOCIMIENTOS Y EQUIPO UTILIZADO

El presente trabajo fue realizado por miembros del cuerpo académico Sistemas Integrados de

Manufactura UANL CA-166. Se utilizó el equipo de las instalaciones del Departamento de Mecatrónica de la FIME-UANL:

- Robot Eshed Robotec IX-Pro.
- Rhinoceros v4 dotado del módulo RhinoVB.NET SDK.
- MathCAD R14 para cálculos.
- SolidWorks v2007.
- MicroSoft Visual Studio. .NET Framework 2.0. VB.NET Express 2010.
- Cámara DLSR Canon 7D.
- Licencia de software para el tratamiento de puntos Geomagic Studio/Qualify v8.

Los autores agradecen a la ingeniera y artista Adriana Flores (también conocida como Adriana Dib en el mundo de la plástica) por ser una de nuestras fuentes de inspiración para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Yanru, Z., Guohui, T., Xin, G., Fengyu, Z. The design and application of human attitude detector based on inertial measurement unit. Chinese Control and Decision Conference (CCDC), 978-1-4244-8738-7/11 IEEE 2011. p2772-2777.
2. Chen, H., Xi, N. Automated tool trajectory planning of industrial robots for painting composite surfaces. Int J Adv Manuf Technol (2008) 35:p680–696.
3. Chen, H., Sheng, W. Transformative CAD based industrial robot program generation. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 2011 Elsevier Ltd. p942–948.
4. Li, X., Landsnes, O., Chen, H., Sudarshan, Fuhlbrigge, T., Rege, M. Automatic trajectory generation for robotic painting application. ISR / ROBOTIK 2010. ISBN 978-3-8007-3273-9, p. 854-859. VDE VERLAG GMBH Berlin-Offenbach.
5. Junyou, Y., Guilin, Q., Le, M., Dianchun, B., Xu, H. Behavior-based control of brush drawing robot. 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering. 978-1-4577-1701-7, p1148-1151.
6. Lam, J., Lam, K., Yam, Y. Robot drawing

- techniques for contoured surface using an automated sketching platform. Proceedings of the 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering Scottsdale, AZ, USA, Sept 22-25, 2007. p735-740.
7. Yao, F., Shao, G. Painting brush control techniques in chinese painting robot. IEEE International Workshop on Robots and Human Interactive Communication 2005 0-7803-9275-2 p462-467.
 8. Luxo, a robotic light sculpture: <http://everyware.kr/home/portfolio/luxo/>
 9. Robot creates beautiful light paintings: <http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/diy/beautiful-light-paintings-from-thymio-ii>
 10. Xu, Z., He, W., Yuan, K. A real-time position and posture measurement device for painting robot. ISBN 978-1-4244-8036-4. Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference. p1942-1946.
 11. Light painting photos shot using an RC helicopter: <http://petapixel.com/2012/05/10/light-painting-photos-shot-using-an-rc-helicopter/>
 12. Belluomo, P., Camerano, C., Fortuna, L., Frasca, M. From kinetic art to immaterial art through chaotic synchronization. International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 20, No. 10 (2010) p.3379–3390. World Scientific Publishing Company.
 13. Sagioglu, S., Yilmaz, N., Wani, M. Web Robot Learning Powered By Bluetooth Communication System. Proceedings of the 5th International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA'06). IEEE ISBN 0-7695-2735-3. p149-156.
 14. Skula, D., Vesely, M. Three axis rotation measurements with Kalman filter data-fusion. Annals of DAAAM & Proceedings; Jan 2009, ISBN 978-3-901509-70-4. Vienna, Austria. p1079-1080.
 15. Shi, G., Zou, Y., Jin, Y., Cui, X., Li, W. Towards HMM based human motion recognition using MEMS inertial sensors. Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Bangkok, Thailand. p1762-1766.
 16. Stone, M. Representing colors as three numbers. Published by the IEEE Computer Society, July/August 2005. IEEE 0272-1716/05. p78-85.
 17. Ackermann, B., Schulz, V., Martiny, C., Hilgers, A., Zhu, X. Control of LEDs. Industry Applications Conference, 2006. IEEE Vol 5, ISSN 0197-2618. p2608-2615.
 18. Liu, Y., Li, S., Cao, L. Application of bluetooth communication in digital photo frame. ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. 2009 p370-373.
 19. Piyare, R., Tazil, M. Bluetooth based home automation system using cell phone. 2011 IEEE 15th International Symposium on Consumer Electronics. p192-195.
 20. Potts, J., Sukittanon, S. Exploiting bluetooth on android mobile devices for home security application. Southeastcon, 2012 Proceedings of IEEE. ISSN 1091-0050.
 21. Qadeer, M., Agrawal, R., Singhal, A., Umar, S. Bluetooth enabled mobile phone remote control for PC. International Conference on Advanced Computer Control 978-0-7695-3516-6/08 International Conference on Advanced Computer Control 2008 IEEE
 22. Kao, W., Hong, C., Lin, S. Automatic sensor and mechanical shutter calibration for digital still cameras. IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 4, November 2005. p1060-1066.
 23. Lenguaje Hewlett & Packard de descripción de gráficos: <http://es.wikipedia.org/wiki/HPGL>
 24. Bi, Z., Lang, S. Automated robotic programming for products with changes. International Journal of Production Research, Vol. 45, No. 9, 1 May 2007, p.2105–2118.