

ANÁLISIS Y RECONSTRUCCIÓN DE IMPLANTES DENTALES MEDIANTE DIGITALIZACIÓN Y GENERACIÓN DE MODELOS 3D

Roque Torres, Juan Álvaro Fuentes, Emilio Gómez, Ángel Molina
Universidad Politécnica de Cartagena, 30.202 Cartagena (roque.torres@upct.es)
Salvador Albalat, Mariano Alcañiz
Navimetric S.L. (albalat@navimetric.com)

Resumen

En la especialidad médica de estomatología, es frecuente el tratamiento ortodóncico de los pacientes con problemas dentales. Para un adecuado diagnóstico y tratamiento de los problemas, es necesario disponer de una información exacta y completa de la disposición y forma de las piezas dentales del paciente, así como un software adecuado para la correcta manipulación de dicha información. En este trabajo, se presenta un sistema de escáner para piezas dentales que, junto con un software apropiado desarrollado por la empresa Navimetric y denominado Orthometric[©], permite al ortodontista disponer digitalmente de toda la información necesaria para un diagnóstico tridimensional rápido y preciso.

Palabras clave: Digitalización 3D, Control de motores, Calibración, Implantes dentales

1 INTRODUCCIÓN

A partir de la imagen de los modelos de escayola obtenida con un escaner 3D, el Módulo de Planificación calcula automáticamente distintos parámetros de diagnóstico, tales como el Índice de Bolton y las discrepancias oseodentarias. Así mismo, dicho módulo es un sistema pionero en la visualización tridimensional de la anatomía dental de los pacientes a partir de sus modelos de escayola.

2 CONTROL DEL SISTEMA

El procedimiento de escaneo se realiza mediante la toma de secciones expresadas como curvas de nivel de altura, de la zona expuesta bajo el sensor, permitiendo desplazar a voluntad el elemento a escanear, consiguiendo así sucesivas secciones de dicho elemento. Además, y debido a la peculiar forma de los objetos a escanear —moldes dentales— es necesario que la plataforma sobre la que se ubica el objeto a escanear tenga, además del movimiento de traslación en sentido perpendicular al plano del láser, dos giros alrededor de

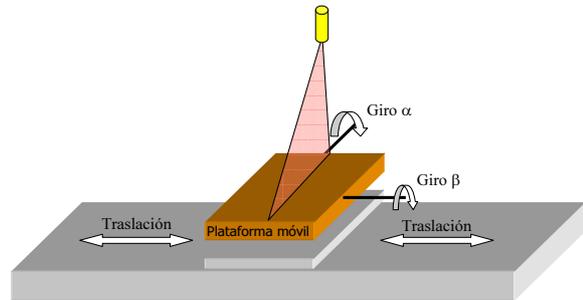


Figura 1: Plataforma. Traslaciones y giros

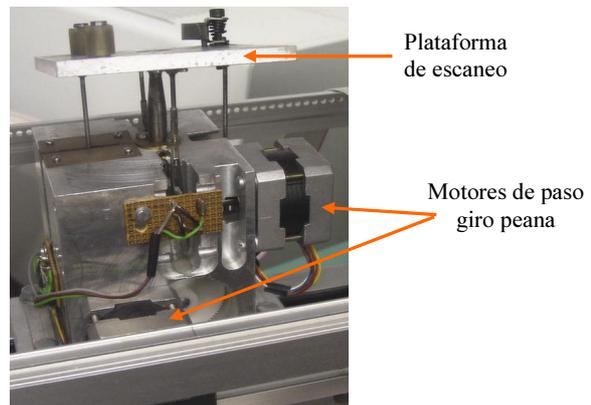


Figura 2: Plataforma y motores de giro

los ejes contenidos en el plano de movimiento (ver figura 1). Para producir dichos giros, se construyó una peana especial (Fabricación UPV) que contiene los mecanismos esenciales de rotación sobre dichos ejes.

Por tanto es necesario tener un control de los movimientos de traslación, y las dos rotaciones de la plataforma peana. Para realizar dicho control se utilizó un husillo lineal movido por un motor de paso y para los giros de la peana otros dos motores de paso (ver figura 2).

El gobierno de dichos motores se realiza utilizando un control por microcontrolador tipo PIC—16F877— comunicado con el computador que procesa las imágenes a través de un interfaz serie. Este tipo de accionamiento independiente, permite al sistema una autonomía en el control de movimientos, limitando al computador a las

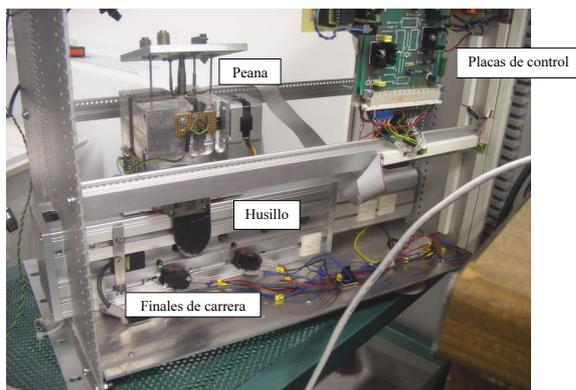


Figura 3: Sistema: distribución interior

labores de visión artificial. Además, se dispone de un control de emergencia mediante un teclado auxiliar que acciona todos los movimientos de la peana de forma independiente al computador. La sensorización posicional de los movimientos de la peana se hace con finales de carrera, mecánicos en el caso del husillo lineal (2 en cada uno de los extremos de la carrera) más uno magnético como seguridad en el extremo final. La posición de los giros de la peana son controlados por optoacopladores de barrera para cada uno de los ejes, de manera que su ocultación coincide con la planaridad de la peana en cada uno de los movimientos.

3 ARQUITECTURA Y CALIBRACIÓN DEL SCANER

3.1 ARQUITECTURA

Principalmente, la arquitectura del sistema esta formada por los siguientes componentes:

Plataforma. Cuya posición espacial está controlada por tres motores paso a paso. Uno de los motores es lineal, pudiendo desplazar dicha plataforma a lo largo de una dirección, y en ambos sentidos, y los otros dos motores controlan la posición angular de la plataforma con respecto a dos ejes de giro. Uno de dichos ejes se corresponde con la dirección de movimiento del motor lineal, eje paralelo, y el otro se corresponde con un eje perpendicular a éste, eje perpendicular.

Laser. Dicho equipo está fijo y solidario a la caja de la plataforma hardware. Su función es la de crear un plano de luz. La intersección del objeto colocado en la plataforma y el plano de luz es la imagen que se debe adquirir y a partir del cual se determinarán las coordenadas tridimensionales del objeto.

Dos cámaras. Dichas cámaras, también fijas a

la caja, son las encargadas de recoger la imagen de la intersección entre el plano de luz y el objeto. Su posición con respecto al plano de luz del láser es crítica a la hora de realizar una correcta adquisición. Se deben posicionar de forma que el eje óptico de las cámaras corte al plano de luz a la altura media de los objetos que se escaneen. Con ello se evitará, al máximo, la distorsión de las cámaras. Una vez fijadas, y tras haber realizado el paso de la calibración, no deben ser movidas de dicha posición, en caso de que así sea se deberá recalibrar el equipo.

Tarjeta de adquisición de imágenes.

Insertada en el ordenador donde se ejecuta la aplicación de control de la plataforma. La función de dicha tarjeta es la de muestrear y digitalizar las imágenes presentadas por las dos cámaras.

Microcontrolador. Se comunica a través del puerto serie con la aplicación de control y cuya función es la de crear el tren de pulsos adecuado para que los motores paso a paso de la plataforma la sitúen en la posición deseada por la aplicación de control.

Software de control. La aplicación de control del scanner principalmente es capaz de realizar las siguientes funciones: Adquisición automática de las coordenadas tridimensionales de la escayola. Posicionamiento, tanto relativo como absoluto de la plataforma. Visualización del resultado de la adquisición. Dichas funciones son realizadas a través de la transmisión de los mensajes de control adecuados a los motores paso a paso de la plataforma, la adquisición y procesamiento de las imágenes de las dos cámaras, o por medio de una combinación de ambos procesos, que dan lugar al fichero de coordenadas espaciales. La visualización de dichos datos se realiza utilizando directamente *OpenGL*.

La figura 4 muestra un esquema general del proceso para la obtención de las coordenadas espaciales, conseguidas a partir de la etapa de calibración, a la cual está dedicada el siguiente apartado.

3.2 CALIBRACIÓN

La calibración se ha implementado utilizando la transformación lineal directa —*Direct Linear Transformation*—. Dicha transformación relaciona la imagen proyectada por de un sistema óptico que realiza una correspondencia entre puntos del espacio objeto O con puntos del espacio imagen I , 5.

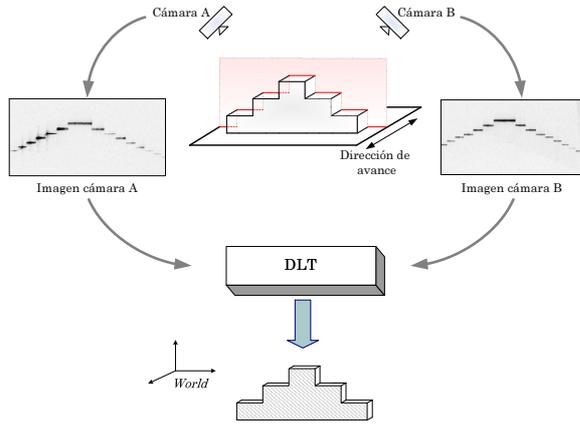


Figura 4: Esquema general

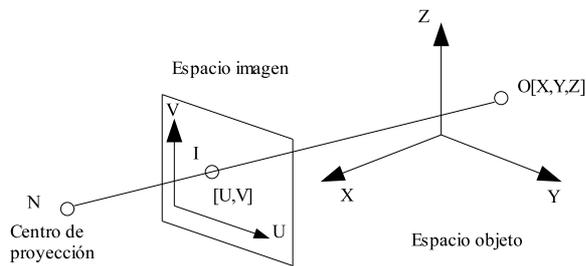


Figura 5: Correspondencia entre espacio objeto e imagen

La DLT utiliza como base fundamental el hecho de que los puntos correspondientes, O y I están alineados con el centro de proyección, N , diciéndose entonces que se cumple la condición de alineamiento. Obteniéndose las ecuaciones de transformación a partir de la aplicación directa de dicha condición. Para ello, si formamos los dos vectores siguientes, $\vec{A} = NO$ y $\vec{B} = NI$, ambos con origen en el centro de proyección pero cuyos extremos son, respectivamente, un punto O y su imagen I por la cámara, se cumplirá la ecuación vectorial siguiente: $\vec{B} = c\vec{A}$, donde c es un escalar constante.

Interesa obtener una relación que ligue las coordenadas de ambos vectores cuando estas utilizan sistemas de referencia distintos. Para obtener esta relación se deberá realizar la transformación a un sistema de referencia común, que por ejemplo puede ser un sistema de referencia ligado al plano imagen y normal a éste. La aplicación de la matriz $[T_{I/O}]$, que expresa la transformación de las coordenadas del sistema de referencia ligado al espacio objeto al sistema de referencia ligado al espacio imagen, permite poder escribir la igualdad entre coordenadas de la forma siguiente:

$$\begin{bmatrix} U - U_o \\ V - V_o \\ -d \end{bmatrix} = c \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix}, \quad (1)$$

siendo:

- $[X_o, Y_o, Z_o]$, las coordenadas en el espacio objeto del centro de proyección N ,
- $[X, Y, Z]$, las coordenadas del punto objeto arbitrario O ,
- $[U_o, V_o, d]$, las coordenadas en el espacio imagen del centro de proyección N ,
- $[U, V, 0]$, las coordenadas de la imagen de O , I , y
- r_{ij} , los elementos de la matriz de transformación $[T_{I/O}]$.

Dicha ecuación es válida cuando las coordenadas del espacio objeto e imagen utilizan las mismas unidades de medida. En el caso común de que se utilicen unidades de pixels para las coordenadas de la imagen y unidades de longitud derivadas del metro para las coordenadas del objeto se deberán utilizar dos constantes de conversión λ_u y λ_v , que tratarían el caso mas general de distintas unidades para cada eje.

Reordenando términos y utilizando la condición de que en nuestro caso particular al estar los puntos del objeto en un plano se puede escoger un sistema de referencia en el que una de las coordenadas sea nula, por ejemplo la z , se llega a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} U &= \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z}{L_7X + L_8Y + 1} \\ V &= \frac{L_4X + L_5Y + L_6Z}{L_7X + L_8Y + 1}. \end{aligned} \quad (2)$$

Utilizando como mínimo cuatro puntos de control y una cámara se pueden determinar las constantes L_i , las cuales serán utilizadas para poder obtener de forma directa las coordenadas, en el sistema de referencia imagen, de la imagen a través de las cámaras del punto O , U y V , o, como es el caso en nuestra aplicación, obtener las coordenadas en el sistema de referencia objeto del punto O , X, Y, Z .

4 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DIGITALIZADA

Una vez obtenidos las coordenadas en el espacio objeto de los puntos capturados, puede com-

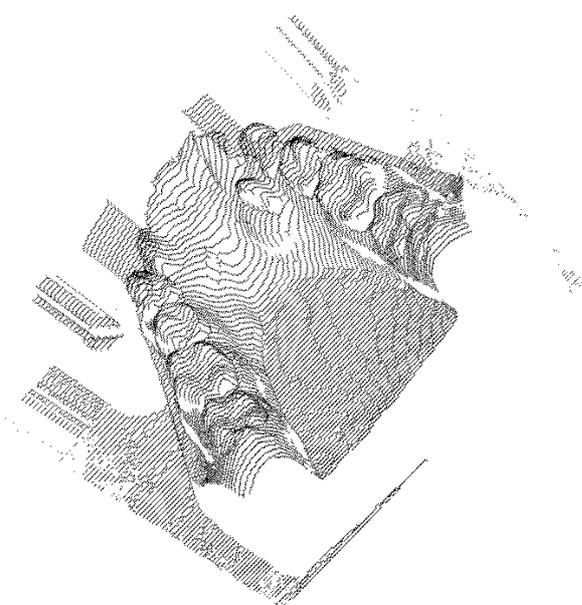


Figura 6: Ejemplo de previsualización de resultados

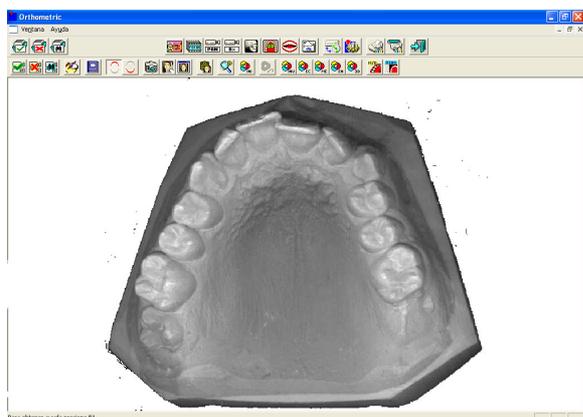


Figura 7: Ejemplo de visualización bidimensional con el paquete informático *Orthometric*®

probarse si la adquisición ha sido correcta mediante la previsualización tridimensional de los datos. A tal efecto, se ha utilizado la librería *OpenGL* con el fin de representar cada punto obtenido como vértices. Una muestra representativa de esta utilidad puede verse en la figura 6. Cuando el proceso de adquisición ha sido satisfactorio, los datos son entonces exportados para su posterior utilización como entrada al paquete *Orthometric*®. Este paquete genera vistas bidimensionales, figura 7, y tridimensionales, figura 8, agregando esta información del paciente a su base de datos. *Orthometric*® genera estas vistas utilizando los ficheros con las diferentes posiciones de los ángulos de la peana α y β . Éste agrega los puntos vistos en una determinada posición de α y β y que están ocultos en las distintas posiciones α y β procesadas anteriormente.

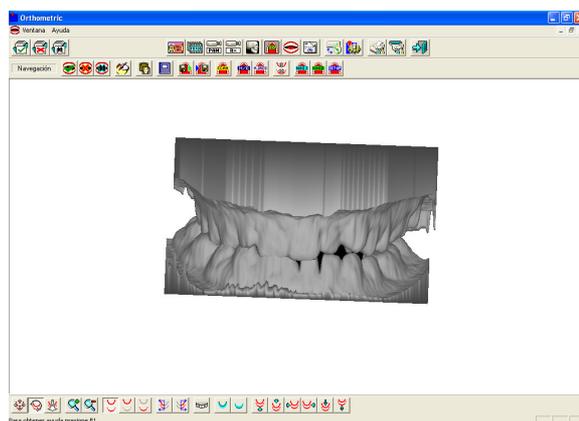


Figura 8: Ejemplo de visualización tridimensional con el paquete informático *Orthometric*®

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado al amparo del Programa de Estímulo a la Investigación y Transferencia Tecnológica, *PEITT-2002*, de la Universidad Politécnica de Cartagena. Los autores agradecen el apoyo que la empresa *Navimetric SL* ha prestado durante el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- [1] Angulo, J.M., Angulo, I., (1997), *Diseño práctico de Microcontroladores*, McGrawHill
- [2] Direct Linear Transformation Theory, <http://kwon3d.com/theory/dlt/dlt.htm>
- [3] Navimetric SL, <http://www.navimetric.com>
- [4] Woo, M, Neider, J, Davis, T, Shreiner, D, (1999), *OpenGL programming guide*, 3rd Edition, Addison-Wesley