

SISTEMA ELECTRÓNICO INTELIGENTE PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN DE UN MÓDULO INERCIAL

Marco Antonio Carretero Reyes
Departamento de ICE – Control
IPN – ESIME

Carlos Barroeta Zamudio
Departamento de ICE – Control
IPN – ESIME

marc_carm@hotmail.com

cbarroet@att.net.mx

ABSTRACT

In specific the system is based on inclinometers for the determination of the inclination angle of the “pig”, in which for the managing of the information obtained by the sensor employed a minicomputer mounted in the module, the which is entrusted solely with storing the different voltages sent by the sensors th what is long of the tour of the “pig” and to parcel them in only one file, the processing of the data is carried out in a conventional PC with a software elaborated in Visual Basic, for the obtainment of the rotation angle that is I presented in the inertial module.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las actividades eficientes de mantenimiento a las tuberías, es necesario diagnosticar ductos de gas y petróleo periódicamente con ayuda de un equipo especial llamado “Pig”. Para corregir las fallas en la tubería como abolladuras, arrugas, pliegues u ovalamientos, es necesario tener una inspección del perfil topográfico de la línea.

La trayectoria que recorre el “pig”, conectados de tal forma que registren cada movimiento e inclinación que este presente en la tubería, se le llama “sistema de navegación inercial”, el cuál está constituido por diferentes sensores como; giroscópos, acelerómetros, potenciómetros e inclinómetros.

2. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO INERCIAL

El módulo inercial tiene las etapas que se necesitan para tener la captura de información evitando ruidos ajenos que interfieran en el procesamiento y entendimiento de las señales. Este módulo consta de 12 niveles circulares, de alimentación de +/- 12 volts, microcomputadora GCAT-6000, convertidores A/D, filtros, 2 acelerómetros para la orientación perpendicular y registro de ambos ejes de simetría, y 3 giróscopos para registrar los 3 ejes cardinales en relación perpendicular y apuntando a cada eje.

La etapa de captura constituida por el módulo de navegación inercial con 5 tarjetas para la obtención de las señales analógicas provenientes de los sensores, y son las: tarjetas convertidores de CD-CD, Filtros, convertidores A/D., GCAT-6000.5.- Optoacopladores.

3. DESARROLLO DEL ALGORITMO PARA DETERMINAR EL ÁNGULO DE ROTACIÓN.

Se tiene como objetivo la determinación del ángulo de rotación (alabeo) del módulo inercial, para la obtención de este parámetro se parte del funcionamiento de los transductores (sensores) altamente calificados, estos cumplen con las normas y requisitos establecidos para el sistema, los transductores utilizados para determinar los ángulos de inclinación, son los inclinómetros LSRP-90 de la compañía Lucas Control Systems.

Debido a una desventaja que presentan estos sensores en su comportamiento de operación, puesto que su respuesta no es lineal en toda su área de trabajo, por lo que se necesita limitar el voltaje de salida del sensor a una cierta región, para trabajar con una ecuación lineal que dé el resultado esperado, otra desventaja que presentan los inclinómetros es que para los valores de salida entre los ángulos de inclinación que van de 90° a 270° son los mismos que para ángulos de -90° a 90°, por lo que se necesita tener un sistema de referencia que indique la región de trabajo del sensor. La solución es ponerlos a un defasamiento de 60°.

Trabajando con una ecuación lineal es mucho más sencillo elaborar el algoritmo del sistema debido a las metodologías y recursos que existen.

El método de interpolación de datos conocidos en puntos discretos para poder estimar los valores funcionales entre dichos puntos.

La Interpolación Lineal es el ajuste de una línea recta entre dos puntos conocidos, se llegó a la siguiente fórmula (Ecuación 1a):

$$\hat{\theta}[X] = \hat{\theta}[X_i] + \{ \hat{\theta}[X_{i+1}] - \hat{\theta}[X_i] \} \{ [X - X_i] / [X_{i+1} - X_i] \} \quad (1)$$

Donde: $\hat{\theta}[X]$ = es el ángulo a conocer

$\hat{\theta}[X_i]$ = ángulo inferior conocido

$\hat{\theta}[X_{i+1}]$ = ángulo superior conocido

X = el voltaje medido por en inclinómetro

X_i = voltaje inferior conocido

X_{i+1} = voltaje superior conocido

Obteniendo muestras de voltaje para distintos ángulos dependiendo de la rotación por el módulo, para tener la certeza de que no existía un error se auxilio de un sistema de ángulos previamente calibrados el cual

muestra la rotación actual del módulo en un rango total de 0° a 360°, y para una confirmación de esta rotación se utilizó también un instrumento de nivel que es utilizado en la Arquitectura.

La programación, se realizó con algunas sentencias de condición, las cuales permiten localizar la región de los inclinómetros para determinar cual de ellos esta en la región lineal y trabajar con sus datos para la obtención del ángulo de rotación., quedando esta parte del programa asi:

```
If (-.87 * 2.29 < incli1) And (incli1 < .87 * 2.29) And (incli2 < 0) Then
```

```
    Tabla = 1 'primeraparte
```

```
    Inicio = 1: limite =13
```

```
    Text27.Text="incli1 1"
```

```
End If
```

```
If (incli1 < -.034 * 2.29) And (-.86 * 2.29 < incli2) And (incli2 < .829 * 2.29) Then
```

```
    Tabla = 2 'segundaparte
```

```
    Inicio = 13: limite =25
```

```
    Text27.Text="incli2 2"
```

```
End If
```

```
If (-.34 * 2.29 < incli1) And (incli1 < .92 * 2.29) And (.829 * 2.29 < incli2) Then
```

```
    Tabla = 3 'terceraparte
```

```
    Inicio = 24: limite =32
```

```
    Text27.Text="incli1 3"
```

```
End If
```

```
If (.85 * 2.29 < incli1) And (0 < incli2) And (incli2 < .829 * 2.29) Then
```

```
    Tabla = 4 'cuartaparte
```

```
    Inicio = 151: limite =181
```

```
    Text27.Text="incli2 4"
```

```
End If
```

Aquí se expresa la región lineal de los inclinómetros, expresada en voltajes, para esto se tiene un rango máximo de entrada de 5 volts después de un acondicionamiento por software de esta amplitud. Expresados otros tres parámetros dentro de la condición seleccionada para determinar el inicio y el límite que el puntero debe recorrer en la tabla de muestras del inclinómetro.

Para realizar el barrido de las tablas a través del puntero, se utilizan los datos proporcionados por las variables de inicio y límite, estos corresponden a la región lineal de cada inclinómetro, de esta forma evitando el consumo de tiempo al recorrer toda la tabla.

El algoritmo que rige la obtención del ángulo de rotación es el siguiente:

```
f(tabla = 1) Or (tabla = 3) Then
```

```
p3 = p2gra2 + (valp1 - valp2gra2)*(p2gra2 - p1gra2)/(valp2gra2 - valp1gra2)
```

```
End If
```

```
If (tabla = 2) Or (tabla = 4) Then
```

```
p3 = p2gra2 + (valp2 - valp2gra2)*(p2gra2 - p1gra2)/(valp2gra2 - valp1gra2)
```

End If

En estas líneas de programación la variante p3 indica el ángulo de rotación (alabeo) colocado en una pantalla gráfica tipo Windows.

El movimiento físico que realiza el módulo inercial es solo alrededor del eje axial, sin presentar alteración o movimiento sobre otro eje cubriendo el rango de los 360° Por lo que mediante este sistema se puede conocer la rotación que el módulo inercial realizó, y tener un parámetro más para la construcción de la trayectoria total del "pig".

Teniendo un registro o mapeo de las trayectorias para ciertos ángulos de inclinación de módulo, teniendo un mínimo error al ser acotado por muestras muy cercanas entre sí, las cuales indican el valor en grados exacto que el módulo en movimiento presenta. Este proyecto esta aún en desarrollo para la interpretación global de la trayectoria que tiene el "pig" al ser puesto en una corrida de mantenimiento. Pero que resulta ser muy atrayente la ventaja de tener este sistema de navegación para el registro topográfico de las tuberías a las que se exponga este módulo.

4. CONCLUSIONES

Con este sistema se determinan los ángulos de inclinación prácticamente, en específico para la inspección interna de las tuberías de gas o petróleo, al tener ubicación exacta del módulo, sin recurrir a otros métodos más complicados e inexactos. El algoritmo utilizado es muy completo para reconstruir tridimensionalmente la trayectoria que sigue el módulo, en base a las inclinaciones que se presentan en el interior de la tubería, provocadas por las turbulencias del fluido interno o cambios de latitud o giro de la estructura del tubo.

Además de contar con operaciones simples, se tiene la reconstrucción casi exacta de la tubería, sin recurrir a otras funciones trigonométricas o de otra índole en donde sean difíciles de introducir en una tarjeta GCAT-6000 de adquisición de datos, como del algoritmo que de cómo resultado los valores de inclinación (alabeo y cabeceo) que el módulo presente.

5. REFERENCIAS

- [1] Análisis Numérico y Visualización Gráfica con Matlab Shoichiro Nakamura, Prentice may, A. Simon & Schuster Company 1ª. Edición, 1997.
- [2] Métodos Numéricos Aplicados con Software, Shoichiro Nakamura, Prentice may, Hispanoamericana, S.A., México-Englewood Clifes, 1ª. Edición Traducida, 1992.
- [3] Dinámica, Mecánica para Ingeniería Anthony Bedford y Wallace Fowler Adison Wesley Iberoamericana