

Este trabajo fue seleccionado en el marco de las 2ª Jornadas virtuales de (Re)volución Digital realizadas por el IAPG en 2021.

Clasificación automática de cartas dinamométricas

Por **Gustavo Moreno, Gustavo Martínez y Abel Garriz** (YPF Tecnología S.A)

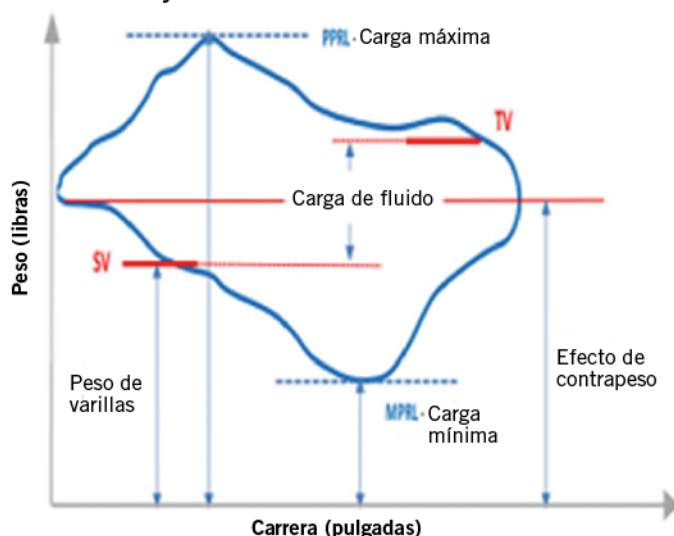
En este trabajo se muestra cómo se utiliza un esquema híbrido para detectar condiciones anormales de operación con las restricciones necesarias para luego ejecutar la clasificación en un microcontrolador.

La dinamometría es la herramienta por excelencia para el diagnóstico de funcionamiento del bombeo mecánico. Las cartas medidas en superficie son utilizadas como entrada para resolver la propagación de esfuerzos en la sarta de bombeo y calcular la carta dinamométrica de fondo. Esta última permite visualizar los esfuerzos en la bomba y reconocer problemas en la operación por simple inspección visual de su forma geométrica (referencias 1 y 2).

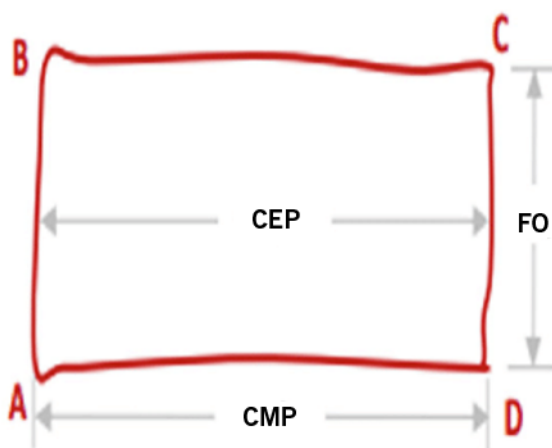
Por este motivo es posible utilizar técnicas de ciencia de datos para analizar esas imágenes de manera automática y clasificar el estado de la bomba en fondo. Existen múltiples contribuciones en las que se ha abordado este problema desde la perspectiva de redes neuronales (ANN-CNN) (referencias 3, 4).

No obstante, hay dos problemáticas que se presentan con frecuencia y requieren un retrabajo. Por un lado, no es usual contar con una

Surface Dynamometer Chart



Downhole Dynamometer Chart



base de datos etiquetada para poder implementar un método de aprendizaje supervisado como ANN; por el otro, es frecuente contar con múltiples fallas o condiciones al mismo tiempo. Por ejemplo, es muy común visualizar un golpe de bomba en el punto muerto inferior y además golpe de fluido.

Entonces, es deseable contar con un método que permita tener en cuenta estas restricciones y que sea robusto para su implementación a nivel corporativo, como en el análisis detallado de todas las cartas que provienen del SCADA.

Como este tipo de algoritmos corren en servidores, muchas veces los recursos de cómputo no se tienen en cuenta.

Sin embargo, el problema de clasificación puede ser extremadamente útil en un sistema de menores recursos de cómputo, como un controlador de pozo. Este sistema se utiliza para comandar el encendido y apagado del aparato de bombeo, por lo tanto, la clasificación automática del estado de bombeo puede ser una pieza muy importante que incorpore mejoras en la protección y la eficiencia del método de control.

Generalmente, en estos sistemas la rutina de control se corre en un microcontrolador que tiene entre 10^4 y 10^6 menos recursos de cómputo y memoria que una PC estándar. En estos casos, el algoritmo y su implementación deben ser diseñados teniendo en cuenta esta limitación.

En este trabajo exhibimos cómo

puede utilizarse un esquema híbrido para detectar condiciones anormales de operación con las restricciones necesarias, y luego poder ejecutar la clasificación en un microcontrolador.

Desarrollo técnico del trabajo

En esta primera sección comentaremos cómo resolver el problema de clasificación cuando contamos con capacidades de cómputo relativamente grandes (PC). Llamamos a este caso multi-tag, porque se podrá asociar más de una etiqueta si se detecta más de una falla al mismo tiempo. Como hemos mencionado, los problemas individuales en las cartas dinamométricas de fondo pueden identificarse, pero todas sus posibles combinaciones hacen que

el trabajo de clasificación se torne engorroso.

Para abordar este problema, proponemos ejecutar una secuencia de procesamiento sobre la carta (o imagen) original, con el fin de extraer progresivamente estas características hasta llegar a una condición donde el remanente puede ser calculado por comparaciones contra comportamientos individuales simples (ver los casos típicos en Gabor Takacs).

Al extraer las características locales de la imagen, ya se generan algunas etiquetas de comportamiento, como golpe de bomba, pero además su eliminación permite reconocer la estructura global. Este proceso es relativamente intensivo en cómputo, pero adecuadamente implementado puede alcanzar tasas de clasificación





de 4 cartas por segundo en una PC estándar.

En el otro caso extremo, cuando buscamos clasificar en un microcontrolador, es difícil realizar de manera exhaustiva este cálculo tan detallado. Por otro lado, en general es suficiente contar con una primera señal de funcionamiento normal o falla para tomar una acción preventiva.

Por lo tanto, se diseñó un método de clasificación binaria, falla *versus* comportamiento normal, en el que se distinguen los casos de golpe de fluido (bomba llena) de los demás casos. En esta situación se contó con una base etiquetada a mano de unas 1000 cartas de fondo. Se entrenó un algoritmo de aprendizaje supervisado que actuó sobre un feature vector construido a partir de una serie de máscaras sobre la imagen original. La ventaja de este enfoque es que el modelo pudo ser entrenado en la PC, pero fue diseñado de manera de poder ejecutar la clasificación posteriormente sobre un objeto de menores recursos de cómputo con los coeficientes ya calculados.

Resultados obtenidos

Al examinar los resultados del método multi-tag se tomaron muestras al azar y se analizaron con el ojo entrenado de un ingeniero de producción. En este ensayo se estudió en detalle unas 340 cartas. Del conjunto, se encontró que un 76% estaban bien clasificadas, con núme-

ros casos multi-tag. En un 15% se encontró que el diagnóstico principal coincidía, pero alguna etiqueta no era correcta. Finalmente, en el 9% de los casos las asignaciones no coincidieron. Al analizar estos datos en mayor detalle se detectó que un problema importante que pudo haber disminuido la performance es la distorsión de las cartas de fondo debido al desvío (intensional o no) del pozo. Es importante aclarar que los controladores de pozo no calculan las cartas para pozos desviados y este cálculo, por lo tanto, puede generar distorsiones que alteran la clasificación, ya que simplemente la carta de fondo se ve diferente. Una de las ventajas del método que se propone es que contiene un parámetro que permite filtrar este tipo de casos, por lo que es posible aumentar mucho el porcentaje de éxito si se excluyen las cartas que tuvieron un comportamiento inesperado.

En el caso de clasificación binaria, se contó con una base etiquetada a mano. Los resultados de la clasificación generalmente estuvieron en el 93% y el 95 % de certidumbre sobre diferentes conjuntos de entrenamiento y testeo. Entendemos que esto da una herramienta valiosa para la detección sobre un dispositivo de muy bajos recursos. Además, un análisis detallado de los casos mal clasificados muestra que es difícil incluso para el ojo humano entender si uno tendría que tomar esas cartas como comportamiento normal o falla.

Conclusiones

En este trabajo se discuten algoritmos de clasificación para cartas dinámicas en diferentes contextos. Se demuestra que es posible utilizar métodos robustos para clasificar información proveniente del SCADA, con posibilidad de eliminar elementos mal medidos. El uso práctico demuestra que esta aplicación simple permite realizar un *screening* rápido de problemas operativos.

El método de clasificación binaria representa una alternativa muy rápida para evaluar una carta de fondo y determinar si el comportamiento es normal o presenta alguna falla. Si bien es diseñado y entrenado en una PC, este puede ser ajustado para ejecutarse con recursos de cómputo mucho menores a los usuales, habilitando su utilización en instrumentos inteligentes.

Bibliografía

- Gibbs, S. (2012). *Rod Pumping: Modern Methods of Design, Diagnosis and Surveillance*.
- Gabor Takacs. (2015). *Sucker-Rod pumping handbook*. Gulf Professional Publishing.
- Zhao H. et al. (2017). A Deep learning approach for condition-based monitoring and fault diagnosis of rod pump system. *Services Transactions on IoT*, 1(1).
- Boguslawski, B. et al. (2018). *IIoT edge analytics: Deploying Machine Learning at the wellhead to identify Rod Pump Failure*. SPE-192513-MS

ESTAMOS PARA QUE NOS ENCUENTRES

EL INSTITUTO ARGENTINO DEL PETRÓLEO Y DEL GAS
AHORA EN TUS REDES SOCIALES



facebook.com/IAPGinfo
facebook.com/IAPGEduca



@IAPG_info
@IAPGEduca



youtube.com/IAPGinfo



INSTITUTO ARGENTINO
DEL PETRÓLEO Y DEL GAS

www.iapg.org.ar