

Control del Nivel de Pulpa en un Circuito de Flotación Utilizando una Estrategia de Control Predictivo.

Cristián Troncoso G.^{*}, Alejandro Suárez S.

Departamento de Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Av. España nº 1680, Valparaíso, Chile

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y resultados de la implementación de una estrategia de control predictivo para el control del nivel de pulpa de un circuito de flotación primario de una minera ubicada en la tercera región de Chile, el cual está compuesto por cinco bancos de flotación. La estrategia considera una representación de estados que modela el nivel de cada banco (utilizando un modelo de múltiples entradas y una salida), el que es obtenido mediante un procedimiento de identificación de sistemas y utiliza un filtro de Kalman como estimador de estados. Para resolver el problema de optimización que calcula la acción de control a aplicar se utiliza un optimizador basado en algoritmos genéticos. Se presentan los resultados de la estrategia de control propuesta mediante datos experimentales. *Copyright © 2017 CEA.*

Palabras Clave:

Control predictivo basado en modelo, Identificación de sistemas y estimación de parámetros, Filtro de Kalman, Rechazo a perturbaciones, Minería, metalurgia, metales y materiales

1. Introducción

La flotación es uno de los procesos de separación de minerales más utilizados dentro de la minería. Este proceso se produce en un conjunto de estanques conectados entre sí, a los cuales ingresa el material y en donde se generan burbujas. Debido a sus propiedades aerofílicas, las cuales son exacerbadas mediante la adición de químicos, el mineral valioso de cobre se adhiere a dichas burbujas subiendo a la superficie y formando espuma rica de mineral valioso, mientras que el resto de material se mantiene en el fondo del estanque. Mediante el ajuste del nivel de la pulpa en cada banco (conjunto de estanques que comparten propiedades como el nivel de pulpa), la espuma que se obtiene se hace rebosar hacia estanques que la envían hacia otras etapas. Es importante controlar adecuadamente el nivel de los bancos para evitar efectos como el rebose de pulpa de material indeseable y para poder controlar la velocidad de rebose de los bancos de manera precisa.

El control del nivel de pulpa en cada banco se realiza manipulando la válvula de salida de éste, en donde generalmente se usan controladores PID (denominados así por sus siglas "Proporcional Integral y Derivativo"). Este tipo de control no entrega un buen desempeño al conectar tres o más bancos en serie

(Hulbert (1995)) ya que el nivel en cada banco depende tanto del flujo de entrada como el de salida, y el control con acción PID no considera el efecto del cambio del flujo de entrada en el nivel de pulpa del banco, lo que genera un comportamiento que empeora el rendimiento del circuito de flotación. Para mejorar el desempeño del circuito, es necesario diseñar una estrategia de control que sea capaz de compensar las perturbaciones causadas por la interacción que hay entre los bancos.

Para compensar las perturbaciones se pueden utilizar distintos esquemas de control, el más conocido corresponde a utilizar un compensador por adelanto (Goodwin et al. (2000)), lo que se puede utilizar en conjunto con controladores PID para generar un controlador por desacoplo, como se presenta en (Stenlund and Medvedev (2002)) al igual que en (Kämpjärvi and Jämsä-Jounela (2003)), la mayor desventaja de este esquema es que el desempeño se degrada a medida que el modelo del sistema es menos preciso, situación que se puede dar debido a las no linealidades, incerteza y las dinámicas no modeladas del proceso. Otra estrategia para controlar el circuito de flotación, compensando las perturbaciones, corresponde a utilizar un controlador LQR (por sus siglas en inglés "Linear Quadratic Regulator"), como presentan Stenlund and Medvedev (2002), pero su dificultad radica en que es difícil de implementar si no se poseen las herramientas adecuadas para resolver la ecuación de Ricatti correspondiente. Una tercera opción corresponde a una estrategia de control predictivo, que provee una solución unificada para

^{*}Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: cristian.troncoso@alumnos.usm.cl (Cristián Troncoso G.), alejandro.suarez@usm.cl (Alejandro Suárez S.)

realizar control por retraso y por adelanto de manera intrínseca.

El control predictivo, o MPC (por sus siglas en inglés "*Model Predictive Control*"), es una estrategia de control en donde se utiliza un modelo del sistema para predecir las respuestas futuras de la planta ante una entrada determinada y se resuelve un problema de optimización para encontrar la actuación que minimiza un criterio que considera los objetivos de control. El control predictivo es una estrategia que puede ser utilizada para controlar una gran variedad de procesos, siendo más ventajosa para sistemas multivariados, con dinámicas lentas y retardos grandes. Esta estrategia tiene como desventaja que requiere de una alta capacidad de cómputos para calcular la actuación a aplicar, debido a que hay que resolver un problema de optimización en cada instante de muestreo de la estrategia de control.

Este trabajo se realiza dentro del circuito de flotación primario de una minera de la tercera región de Chile, que posee cinco bancos conectados en serie. Este sistema posee dinámicas lentas, que además contienen retardos y en donde es necesario compensar perturbaciones, por lo que una estrategia de control predictivo resulta una forma atractiva para controlar el proceso.

El trabajo consiste en diseñar e implementar una estrategia de control predictivo que permita mantener estable el nivel de pulpa en los bancos, mediante la correcta compensación de las perturbaciones (medibles) del sistema. Adicionalmente la estrategia implementada no debe perder el control ante los cambios de flujo a la entrada del circuito. Se posee como restricción que la estrategia de control predictivo debe desarrollarse con las herramientas disponibles en la minera. Para resolver problemas de optimización se cuenta con un sistema experto que posee un módulo de optimización basado en algoritmos genéticos, por lo que hay que usar esta técnica para resolver el problema de optimización formulado en la estrategia de control predictivo, lo que lleva a la estrategia de control predictivo implementada.

El desempeño de la estrategia de control predictivo es comparada con el control utilizado hasta el momento en el circuito de flotación, que consiste en un conjunto de controladores PID. Este análisis se realiza bajo las condiciones de operación normales del proceso.

La estrategia se implementa utilizando un sistema experto comercial y el modelo se encuentra mediante un procedimiento de identificación, utilizando la herramienta de identificación de sistemas de MATLAB.

El trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se presenta un modelo que describe el comportamiento del sistema, en las secciones 3, 4 y 5 se presentan los elementos utilizados en el diseño e implementación de la estrategia de control predictivo y el trabajo experimental relacionado, en la sección 6 se describen los elementos del control predictivo y el trabajo experimental relacionado, en la sección 7 se describen los resultados de la implementación de la estrategia de control predictivo. El trabajo termina con las conclusiones.

1.1. Soluciones abordadas por otros autores

Dentro de la minería se han desarrollado muchos trabajos que buscan encontrar un modelo matemático de un proceso, por ejemplo el trabajo realizado por Suárez and Gómez (2011),

modelo que luego puede utilizarse para predecir el comportamiento futuro del proceso y en conjunto con una herramienta de optimización adecuada, generar una estrategia de control predictivo.

Existen algunos trabajos en donde se han presentado distintas formas de controlar el nivel de pulpa en de los bancos de flotación. En el trabajo presentado por Stenlund and Medvedev (2002) se realizan comparaciones entre 4 estrategias multivariadas con el fin de realizar control de nivel de pulpa en un circuito de flotación, entre ellas un controlador que considera un elemento de pre-alimentación para corregir los efectos en el cambio de flujo a la entrada del primer banco, un controlador por desacople, y otras estrategias que buscan mejorar el rendimiento del control.

Kämpjärvi and Jämsä-Jounela (2003) proponen el uso de un controlador por desacople y un controlador LQR para controlar el nivel de pulpa en un circuito de flotación, en ambos casos el control se complementa con un controlador por pre-alimentación para compensar los cambios de flujo a la entrada del circuito.

Putz and Cipriano (2015) presentan los resultados de una estrategia de control predictivo que utiliza un modelo híbrido para controlar el nivel de los bancos y la ley de colas del proceso de flotación, el que se demuestra efectivo de acuerdo a simulaciones.

Cabe destacar que en los tres trabajos anteriores los resultados se validan mediante simulaciones, y no sobre un proceso real, por lo que no considera los problemas que pueden aparecer debido a la instrumentación, a las perturbaciones que pueden aparecer en un circuito real, a la incerteza del modelo, ni a las dinámicas no modeladas del sistema, siendo un problema bastante acotado en ese aspecto.

Existen más trabajos que presentan estrategias de control predictivo para el control de circuitos de flotación, por ejemplo (Pérez-Correa et al. (1998), Rojas and Cipriano (2011) y Desbiens et al. (1998)), pero la mayoría de estas estrategias asumen que el problema de variabilidad en el nivel ya está solucionado, y lo que se desea es controlar la ley de colas, la ley de concentrado o ambas.

Martínez et al. (1998) presentan teoría y ejemplos de la implementación de una estrategia de control predictivo que utiliza un modelo CARIMA (por sus siglas en inglés "*Controlled Auto-Regressive Integrating Moving Average*") en conjunto con un optimizador basado en algoritmos genéticos. Esta estrategia de control predictivo es similar a la propuesta en este trabajo ya que se utiliza el mismo algoritmo de optimización con el fin de encontrar la ley de control, en este trabajo se analiza la respuesta de la estrategia de control en una planta SISO, en este trabajo se analiza un sistema multivariable. Adicionalmente esta estrategia no considera ninguna forma de compensar el efecto del ruido de medición, al contrario de la estrategia presentada en este trabajo..

Este trabajo en demuestra que se puede utilizar un modelo lineal, un filtro de Kalman y una herramienta de optimización basada en algoritmos genéticos para implementar una estrategia de control predictivo sujeto a restricciones, de la que se desconoce su uso en otras aplicaciones. Además se presenta la im-

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050509>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050509>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)