

ALGORITMOS PARA EL DISEÑO DE MINAS A CIELO ABIERTO EN MODELOS DE BLOQUES GEOLÓGICOS

Ing. Rosa Elena Peña Lallanilla.

Desarrollador en la Facultad 06, Departamento de Geoinformática, Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba.

relallanilla@uci.cu

Ing. Eddy Dangel Quesada Rodríguez.

Líder del Proyecto Sistema Minero Cubano, Departamento de Geoinformática, Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba.

edquezada@uci.cu

Ing. Manuel Alejandro Pérez Rosabal.

Desarrollador en la Facultad 06, Departamento de Geoinformática, Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba.

marosabal@uci.cu

RESUMEN

Establecer los límites económicos de una explotación a cielo abierto es una actividad fundamental durante el diseño minero. Existen algoritmos clásicos para este propósito pero la aplicación directa en yacimientos de gran dimensión puede causar dificultades debido al volumen de datos geológico-mineros que se deben procesar. La estrategia de solución presentada en este trabajo consiste en la aplicación de técnicas en 3D relacionadas con la teoría de grafos, en particular el algoritmo de Lerchs-Grossman. Un aporte importante de la investigación consiste en la propuesta de un Octree para optimizar las búsquedas espaciales que se hacen durante el procedimiento. Para realizar pruebas prácticas que permitan mostrar la efectividad de los algoritmos propuestos se desarrolló una aplicación informática utilizando el lenguaje de programación C/C++. Las técnicas implementadas son una base importante para obtener los límites económicos de depósitos de gran dimensión y complejidad mediante una gestión optimizada de los objetos geológicos.

PALABRAS CLAVES: Algoritmo, diseño, mina, octree.

INTRODUCCIÓN

Una mina es una obra resultante del conjunto de excavaciones e instalaciones que se desarrollan por encima o por debajo de la superficie, dividiéndolas, respectivamente,

en minas a cielo abierto y en minas subterráneas. Las minas a cielo abierto son rentables cuando los yacimientos afloran en la superficie o la competencia del terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos, como ocurre cuando está formado por arena o grava [1]. En la explotación a cielo abierto es necesario extraer gran cantidad de material estéril para obtener el mineral. Los geólogos y mineros deben mantener un control exhaustivo del volumen de extracción para lograr un minado económicamente factible. Dada la cantidad de variables técnico-económicas que se manejan en este tipo de explotaciones es difícil definir el mejor esquema y por lo tanto lograr un correcto aprovechamiento de los recursos minerales.

El punto de partida para realizar el diseño de un proyecto minero a cielo abierto es elaborar un modelo de bloques. Este representa una interpretación discreta de la realidad que permite separar en pequeños sectores una zona geológica de interés [2]. Durante la obtención de los límites finales de la explotación es común hacer numerosas búsquedas espaciales sobre los bloques distribuidos en el modelo. Los costos computacionales de estas consultas pueden ser realmente altos en dependencia de la cantidad de objetos geométricos que se procesan y la estructura de datos que se utilice para almacenar dichos objetos.

Para realizar el diseño de la mina se emplean generalmente programas de cómputo y algoritmos especializados que permitan lograr la versatilidad y flexibilidad del proceso. El algoritmo del Cono Flotante, en el campo de la heurística, ha sido el más popular para obtener los límites económicos de la mina [3, 4], aunque es sencillo y no asegura que la solución sea óptima pues no tiene en cuenta la cooperación entre los bloques [5]. En el campo de la programación lineal se encuentra una modificación del algoritmo Simplex Dual propuesta por Manfred Meyer [6]. Asociado a la teoría de grafos se encuentra el clásico algoritmo de Lerchs-Grossman para tres dimensiones [7] que es equivalente paso a paso con la adaptación del Simplex Dual [8]. La complejidad temporal de estos dos últimos algoritmos es de $O(n^3)$ donde n es el número de bloques en el modelo. La aplicación directa de estos procedimientos en yacimientos de gran dimensión puede causar dificultades debido al volumen de datos geológico-mineros que se deben procesar.

Otro aspecto significativo a tener en cuenta en este tipo de explotación son los ángulos de talud debido a que garantizan la estabilidad de cada uno de los sectores comprometidos de la mina [9]. Los bloques de menor nivel no pueden ser extraídos hasta que los bloques superiores condicionantes no sean retirados respetando las restricciones de inclinación de pared. Es importante lograr un máximo beneficio económico en función de un mínimo factor de riesgo de que ocurra algún siniestro geomecánico. En este artículo se proponen una serie de algoritmos para realizar el diseño de una mina a cielo abierto y la utilización de un Octree que permita la gestión optimizada de los objetos geológicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre todas las técnicas disponibles para determinar los límites de la mina, la del algoritmo de Lerchs-Grossman en tres dimensiones es la solución clásica que se acepta como referencia para comparar los resultados obtenidos con los demás métodos, desde su postulación en 1965. Trabajos posteriores a su publicación aportan diversas estrategias que mejoran considerablemente su funcionamiento, como la variante presentada por Lipkewich y Borgman en 1969 [10] y el algoritmo de Chen [11], que han sido tomadas en cuenta para la propuesta de un algoritmo que permita realizar el diseño de minas a cielo abierto.

A partir de una publicación de Michael P. Lipkewich y Leon Borgman, se pudo obtener una variante de aplicación de la teoría de grafos que simplifica el número de cálculos y

obtiene resultados bien aproximados al óptimo. La técnica consiste en analizar el modelo nivel por nivel, comenzando por la superficie e ir extrayendo del modelo inicial los bloques cuya extracción sea económicamente rentable, factor que permite obviar de análisis posteriores todos los nodos que cumplen esta condición. De esta forma se reduce la cantidad de elementos a procesar en niveles inferiores.

Posteriormente T. Chen (Chen, 1976) propone una técnica conocida como Patrón de Búsqueda Mínima. Este procedimiento tiene en cuenta los ángulos de talud en diferentes direcciones para fijar los límites geométricos del hueco y representar las dependencias de los bloques superiores con respecto a los de menor nivel para su extracción. La ventaja principal de este algoritmo consiste en que reduce el tiempo de las búsquedas al descartar todos los bloques que no cumplan la condición, antes de aplicar un algoritmo de diseño y optimización de minas a cielo abierto. El método propuesto para solucionar el problema del hueco final mediante la implementación de un algoritmo para el diseño de minas a cielo abierto consiste en extender estas ideas a través de los siguientes procedimientos:

- El Patrón de Búsqueda Mínima que permite obtener los límites geométricos del hueco y excluir los bloques que no cumplan las restricciones impuestas por los ángulos de talud.
- El método de Lerchs-Grossman en tres dimensiones que permite obtener posibles volúmenes de material cuyo minado es rentable.
- La simplificación propuesta por Lipkewich y Borgman de tratar a los bloques económicos nivel por nivel en orden descendente e ir haciendo la extracción de aquellos que cumplan el umbral establecido.
- Usar un Octree como estructura de datos jerárquica para optimizar las consultas y búsquedas espaciales.

Un Octree es una estructura de datos espacial jerárquica basada en la subdivisión recursiva de cada nodo del árbol en octantes, dando como resultado que cada nodo tenga solo 8 hijos. Existen otras estructuras comúnmente usadas para la representación de objetos tridimensionales, entre las más destacadas se encuentran el BSP-tree y el Kd-Tree. La principal diferencia que existe entre estas estructuras de datos radica en los métodos empleados para subdividir el espacio. Tanto el BSP-tree (Binary Space Partitioning) como el Kd-Tree se basan en la subdivisión del plano en dos regiones construyendo un árbol binario. Esto requiere que sean definidos más niveles en el árbol de búsqueda lo que implica que el análisis desde la raíz hasta el elemento deseado sea más costoso con respecto al método propuesto por el Octree.

Cada bloque del modelo representa un cubo que contiene información geológica. La estructura jerárquica que se adapta mejor a este problema es el Octree debido a que mediante la subdivisión recursiva proporciona cajas más ajustadas, por lo tanto es más fácil realizar operaciones de intersección para encontrar un bloque en el modelo. La principal ventaja del uso de un octree para realizar el diseño de una mina a cielo abierto radica en que permite reducir los requerimientos de almacenamiento e incluye técnicas para optimizar las búsquedas espaciales como por ejemplo, encontrar los elementos vecinos [12].

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el objetivo de realizar pruebas prácticas que permitan mostrar la efectividad de los algoritmos propuestos para la obtención de los límites geométricos de la mina y la representación de los bloques del modelo tridimensional, se desarrolló una aplicación

utilizando el lenguaje de programación C/C++. Las pruebas fueron hechas en una estación de trabajo con el sistema operativo Ubuntu 11.10, con 1 GB de memoria RAM y un procesador Celeron a 2.60 GHz. La aplicación permite visualizar los límites del mayor cono inscrito dentro de la región geológica teniendo en cuenta los ángulos de talud, así como la generación o lectura de parámetros relacionados con la valorización de los bloques, útil en el trabajo y experimentación con datos reales (Figura 1). Todas las opciones que brinda la aplicación se realizan estableciendo una interactividad visual con el usuario de manera que se pueden apreciar en todo momento los cambios y las operaciones realizadas sobre el modelo.

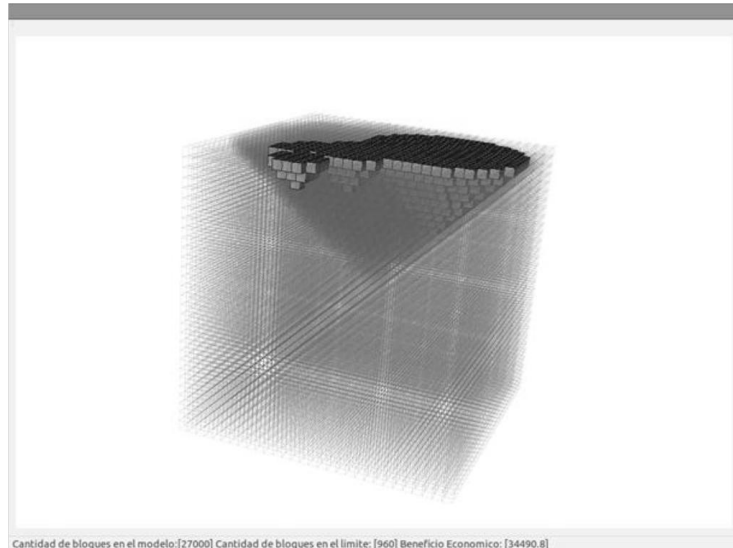


Figura 1. Salida de la aplicación. Límites de una explotación a cielo abierto teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos.

CONCLUSIONES

La principal ventaja de los algoritmos propuestos para la obtención de los límites del hueco es que, combinados, permiten asegurar una reducción de los elementos en el modelo inicial. Este factor es importante para mejorar el rendimiento y la rapidez del proceso en el trabajo con modelos geológicos de gran dimensión. Los elementos obtenidos dentro de los límites de la explotación serán la entrada para el proceso de optimización de la producción que se realiza en fases posteriores, el cual permitirá escoger la secuencia de bloques que genere el mayor beneficio en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Palacios, T.A.d. "Contabilidad Minera y Petrolera", Bolivia, 2011.
2. Datamine_TM, *Conceptos básicos en el diseño de minas a cielo abierto*, 2003.
3. Armstrong, D., *Surface Mining*, Inc Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Colorado, 1990.
4. Kuchta, W.H.y.M., *Open Pit Mine, Planning and Design*. Rotterdam, 1995.
5. Lemieux, M. *Moving Cone Optimization Algorithm*, p. 329-345, A. Weiss, 1979.
6. Meyer, "Applying Linear Programming to the Design of Ultimate Pit Limits". 1969.
7. Lerchs-Grossman, *Optimum design of open-pit mines*, p. 47-54, *Canadian Institute of Mining Bulletin*, 1965.
8. Giannini, L.M., *Optimum Design of Open Pit Mines*. Curtin University of Technology: Australia, 1990.
9. Quesada, R.W., "Diseño de taludes". Córdoba - Argentina, 2005.

10. Lipkewich-Borgman, *Two- and Three-Dimensional Pit Design Optimization Techniques*, p. 505-523, A. Weiss, 1969.
11. Chen, T. *3-D Pit Design with Variable Wall Slope Capabilities*, p. 615-625, New York, 1976.
12. Tiankai Tu, D.R.O.H., Julio C. López, "The Etree Library. A system for Manipulating Large Octrees on Disk", Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2003.

SOCIEDAD DE LA INFORMACION

www.sociedadelainformacion.com

Edita:



Director: José Ángel Ruiz Felipe

Jefe de publicaciones: Antero Soria Luján

D.L.: AB 293-2001

ISSN: 1578-326x