Sistema de optimización de Transporte para la Mediana Minería.

Expositor: Eduardo Cornejo
4DIGITAL Founder

Don't lose the north of your mining operations

VIII MEDIANA MINERIA 2013
MEDMIN

Un poco de historia

En memoria de un grande

Richard Ernest Bellman (1920–1984)

Fue un matemático aplicado, cuya mayor contribución fue la metodología denominada programación dinámica.

Bellman estudió matemática en la Universidad de Brooklyn, donde obtuvo una diplomatura, y luego en la Universidad de Wisconsin, su licenciatura.

Posteriormente comenzó a trabajar en el Laboratorio Nacional Los Álamos en el campo de la física teórica. En 1946 obtuvo su doctorado en la Universidad de Princeton. También ejerció la docencia en la universidad del sur de California(EE. UU.), fue socio de la Academia Americana de las Artes y las Ciencias (1975) y de la Academia Nacional Americana de Ingeniería (1977).

En 1979 el IEEE le otorgó la medalla de honor por su contribución a la teoría de los sistemas de control y de los procesos de decisión, en especial por su contribución con la programación dinámica y por la ecuación de Bellman.

La problemática

Como optimizar la producción evitando:

- Operadores siguiendo instrucciones verbales de supervisores sin verificar la orden con el despacho.
- Operadores de palas y chancado no alertan sobre disrupciones en el proceso.
- Conductores de camiones detenidos cuando se espera estén viajando.
- Conductores de camiones arribando a carga o dumping en locaciones erróneas.
- Conductores utilizando rutas que no son las optimas o las mas cortas.

Y todo respetando las restricciones…

La información es utilizada por algoritmos que direccionan la optimización y como resultado entregan resultados de asignación optima de equipos mina.

Elementos del problema

Topografía de la mina y el perfil de red de caminos
Sitios de descarga y capacidades
Información de Calidad del material y ley
Restricciones de equipos mina

La Necesidad

Mediana minería con Problemas de grande…

La mediana minería en Chile forma parte de un segmento que aporta más de 350.000 ton de cobre fino al año, se presume la existencia de varias operaciones que no cuentan con sistemas de optimización y manejo de flota. En el resto del mundo se presupuesta más de un centenar de operaciones en igual condición.

Å Radio controlador de carguío y transporte

V/S

Å Sistema automático.

Problemas al no contar con un sistema de MineFleetMgmt

- Å Dilución - Cobre al botadero y lastre al Chancado.
- Å Elevado gasto en combustible.
- Å Camiones detenidos o en colas
- Å Reparaciones de maquinaria de alto costo.
- Å Operaciones de alto riesgo con operadores situados en los caminos.

La Necesidad

Lo logramos?

Vale, Rio Tinto, AMSA, BHP Billiton, Anglo American, Codelco y otras de las grandes hoy disponen de sistemas de Mine Fleet Management obteniendo ahorros millonarios en sus operaciones.

Algunos features de los sistemas de MineFleetMgmt

- Asignación dinámica de camiones a palas y excavadoras.
- Abertura y cierre de botaderos. Abertura y cierre de caminos.
- Selección automática de ruta más corta y menos congestionada.
- Visibilidad de equipo minero y rendimiento del operador.
- Parámetros críticos de producción en tiempo real.
- Despliegue mejorado de camión en ruta / grupos de rutas.Reducción de tiempos de espera de camión y palas.Incremento de la productividad.Notificación visual de cambios al conductor automática.
- Control de dilución.

Optimización de carguío y transporte

Tecnología de Mine Fleet Management

La operación de carguío y transporte puede representar hasta el 50% de los costos totales de explotación de una mina a cielo abierto y los ahorros generados por una mejora impacta directamente en un costo menor por tonelada de material transportado.

30 años atrás una firma norte americana conquista el mercado con el primer sistema de despacho y optimización de flota minera.

Optimización de carguío y transporte

Sistemas de Despacho Mina o Mine Fleet Management

En términos simples un sistema de optimización de transporte y carguío minero, es una herramienta de software y hardware que facilita el incremento de la productividad de la flota minera, la reducción de los costos operacionales, el consumo de combustible, la durabilidad de la maquinaria y su ciclo de vida.

A su vez, deberá permitir un control de calidad de mineral mejorada y el incremento en la seguridad minera.

Entre otras características un sistema de optimización y gestión de flota permite;
ÅEl incremento de la productividad de la flota mediante la administración inteligente de la carga, minimización de tiempos muertos, reportes en tiempo real, planificación de la producción.
ÅReducción de costos operacionales y de mantenimiento mediante alta precisión en el guiado de la maquinaria, el monitoreo de salud del equipamiento y monitoreo de la conducción de vehículos.
ÅProgramación Lineal para optimizar la gran cantidad de información de parámetros de ruta y del vehículo. Así también para la selección automática de ruta más corta se utiliza poderosos algoritmos matemáticos.

Tecnológicamente hablando

La solución tecnológica consiste en:

- Un robusto Tablet PC de última generación y un GPS de baja precisión abordo de la maquinaria.
- Un sistema de transmisión inalámbrico desplegado en el rajo.
- Una capa de GPS de alta precisión para el guiado de la maquinaria y control de dilución en palas y perforadoras.
- Un servidor de gran performance.
- SOFTWARE de Mine Fleet Management desplegado en el servidor central y en cada terminal de equipo mina o apoyo.

Características esenciales de un sistema de optimización de flota:

- Visualización
- Optimización
- Planificación
- Integración
- Administración
- Mantenimiento

Optimización

Mecanismos de selección de ruta, programación lineal y aprendizaje

La mejor ruta (BP)

El mejor camino donde existe el menor tiempo de trayecto entre dos puntos.

A	B	C	D	E
0	∞	∞	∞	∞
0	−1	∞	∞	∞
0	−1	4	∞	∞
0	−1	2	∞	∞
0	−1	2	∞	1
0	−1	2	1	1
0	−1	2	−2	1

El plan maestro de flujo de material (LP)

Normalmente basado en técnicas de programación lineal (LP). Este paso produce el patrón de flujo de camiones vacíos y cargados, que maximiza la productividad general de la operación.

$$
\begin{array}{c|cccccc|}
 & \mathbf{a}^1 & \mathbf{a}^2 & \cdots & \mathbf{a}^j & \cdots & \mathbf{a}^n \\
\hline
\mathbf{b}^1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\
\mathbf{b}^2 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\mathbf{b}^i & x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\mathbf{b}^m & x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \\
\hline
\end{array}
$$

Asignación de camiones (DP)

La pieza más relevante de la información e instrucciones de dónde ir para cada conductor de camión.

Selección de ruta

El **algoritmo de Bellman-Ford** (**algoritmo de Bell-End-Ford**), genera el camino más corto en un grafo dirigido ponderado (en el que el peso de las aristas puede ser negativo.

Algoritmo Bellman - Ford

Dado un grafo dirigido G (V, E) con vértices ponderados w (u, v), se define el peso del trayecto de una ruta p como:

$$w(p)=\sum_{i=1}^{k} w(v_{i-1}, v_i)$$

Para un vértice de origen *s*, encuentra la ruta de mínimo peso a cada vértice alcanzable desde s expresado como

$$\delta(s, v)=\begin{cases} \min\{w(p) \quad s \to v\} \\ \infty \text{ otherwise} \end{cases}$$

Algoritmos de optimización

Programación lineal

El Método Simplex publicado por George Dantzig en 1947 consiste en un algoritmo iterativo que secuencialmente a través de iteraciones se va aproximando al óptimo del problema de Programación Lineal en caso de existir este último.

La programación lineal crea un plan maestro para maximizar la productividad en la mina y entrega como resultado circuitos optimizados.

El método simplex es un procedimiento iterativo que progresivamente permite obtener una solución optima para: determinar puntos de descarga, tipos de camiones y rates de alimentación.

La primera implementación computacional del Método Simplex es el ano 1952 para un problema de 71 variables y 48 ecuaciones. Su resolución tarda 18 horas. Luego, en 1956, un código llamado RSLP1, implementado en un IBM con 4Kb en RAM, admitió la resolución de modelos con 255 restricciones.

Variables

Función objetivo

$$\text{Max } z = \sum_{i \in A} c_i x_i$$

Donde *x*i, es el rate de flujo *i*th de camiones cargados en trayecto (xi>=0), ci es el coeficiente de peso del trayecto ith (ci>0), A es el conjunto de todos las rutas de camiones cargados en la mina.

Restricciones

$$\sum_{i \in E_j} x_i \le b_j$$

Restricción de manejo de capacidad

$$\left(\sum_{i \in E_j} x_i\right) H_{lj} \le \left(\sum_{i \in E_j} x_i g_i\right) \le \left(\sum_{i \in E_j} x_i\right) H_{uj}$$

Restricción grado mineral

Características de un sistema de optimización

Visualización

Optimización

Monitoreo signos vitales en tiempo real

Manejo de colas

Control de dilución

Una breve demostración

Presentaciones:

ñMedMinò

www.medmin.cl