

Modelos con Kriging de indicadores múltiples (MIK) en MineSight 3D

Esta es una introducción a la interpolación Kriging de indicadores múltiples (MIK) y a cómo armar un modelo MIK desde MineSight.

¿Porqué necesitamos MIK?

La técnica MIK se utiliza para estimar la distribución de leyes en un panel o en un bloque (para la estimación de recuperaciones locales), o la probabilidad de que se excedan ciertos valores umbrales (como cuando se presentan problemas ambientales).

Por ejemplo, en la etapa de exploración de un yacimiento, la estimación de la distribución global proporciona una idea somera del tonelaje total de mineral y de la cantidad de metal que hay por encima de distintas leyes de corte. En las etapas de factibilidad y desarrollo esas estimaciones globales ya no resultan suficientes. En la planificación para largo y corto plazo, generalmente se necesitan estimaciones (distribución) de tonelaje de mineral y cantidades de metal para áreas/bloques más pequeños (locales).

MIK también resulta necesario para encarar los problemas de estimación relacionados con datos muy sesgados, como por ejemplo en yacimientos de oro y en hidrología. Los métodos lineales resultan adecuados para estimar valores medios; sin embargo pueden encontrar dificultades en el cálculo de tonelajes recuperables, en aquellos casos en que la distribución de las muestras está muy sesgada. Por ejemplo, la suavización de las leyes más altas es uno de los atajos de la geoestadística lineal, como es el caso del kriging ordinario (KO).

El empleo de un variograma ordinario con frecuencia no resulta factible cuando los datos están muy sesgados, con lo cual la aplicación del kriging ordinario (KO) se hace imposible.

La regla de oro para determinar si se deben o no utilizar métodos no lineales (MIK o KO) es que el coeficiente de variación (CV) de los datos de sondaje sea superior a 1.5. Si el CV es menor que 0.5, los métodos lineales funcionarán correctamente. Si es superior a 1.5, no. Si el coeficiente se encuentra entre 0.5 y 1.5 utilice la interpolación lineal con precaución.

¿Qué es MIK?

MIK es un método de interpolación no lineal y no paramétrico. Se llama no lineal porque no implica transformaciones lineales (función indicador). Y se denomina no paramétrico porque no adopta supuesto alguno respecto de la distribución de los datos.

MIK se basa en la función indicador.

$$1, \text{ si } z(x) \leq z_c$$

$$\text{de lo contrario } i(x, z_c) = 0.$$

Para determinada ley de corte podemos calcular la probabilidad de que la ley estimada en el bloque sea inferior al valor umbral. Por ejemplo:

$$32\% \text{ probabilidad } CU \leq 0.2$$

$$(68\% \text{ probabilidad } CU > 0.2)$$

MIK aplica la función indicador a distintas leyes de corte y estima la probabilidad de distribución acumulativa local de las leyes en un bloque.

Por ejemplo, cuando se tienen las siguientes muestras (Figura 1) y se desea calcular la ley en el bloque.

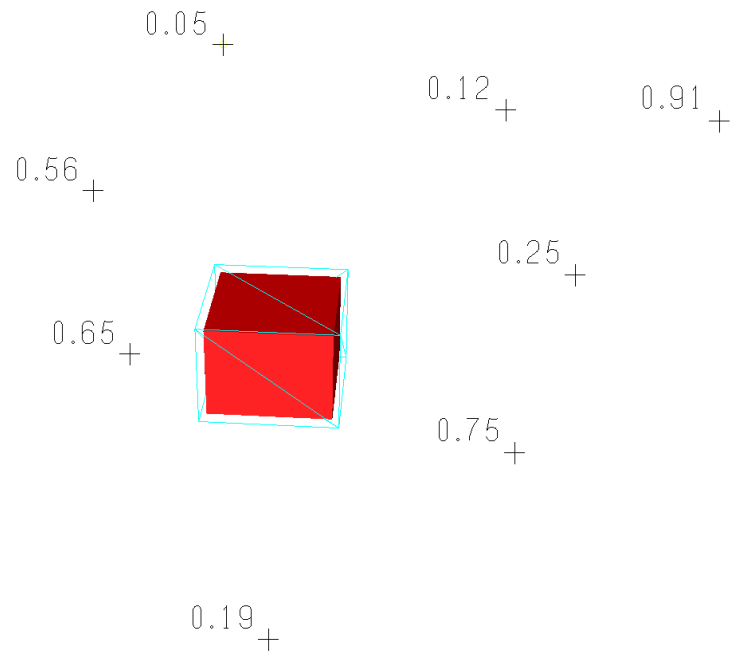


Figura 1. Ejemplo de muestras alrededor de un bloque.

Se aplica una serie de leyes de corte y se convierten las muestras a los indicadores, según se encuentren por encima o por debajo de esa ley (Figura 2). En este ejemplo, hemos aplicado tres leyes de corte arbitrarias a los valores de ocho muestras y las convertimos a los indicadores..

Cutoff	Sample Value								
	0.05	0.12	0.19	0.25	0.56	0.65	0.75	0.91	
0.2	1	1	1	0	0	0	0	0	$i(x;0.2)$
0.5	1	1	1	1	0	0	0	0	$i(x;0.5)$
0.7	1	1	1	1	1	1	0	0	$i(x;0.7)$

Figura 2. Serie de leyes de cortes aplicadas a las muestras y convertidas a los indicadores..

Para aplicaciones de minería, generalmente unos pocos valores de corte tienen significación práctica y económica. El plan de mina puede exigir que se separe el material en mena y estéril, sobre la base de determinada ley, o puede que el material de beneficio se distribuya en acopios según otras leyes de corte.

Si no hay umbrales que tengan significación especial para los problemas que se pretenden estimar, se pueden emplear las leyes de corte que correspondan a los nueve deciles de la distribución global.

También se puede ejecutar MineSight Data Analyst (MSDA) para calcular las leyes de corte que se aplicarán para el análisis MIK. Sobre la base de la cantidad de leyes especificadas por el usuario, MSDA intenta encontrar aquellas leyes de corte que igualan el contenido metalífero dentro de los rangos (Figura 3).

Cutoff Analysis						
File Properties						
Cu comps_Rock 1-2 lxp_Rock 1-2						
Class	Cutoff >=	Cutoff <	Samples	Average	Metal (uni...	%Total
1	0.0	0.296	786	0.1462	114.93	9.0939
2	0.296	0.412	328	0.3511	115.15	9.1115
3	0.412	0.523	248	0.4634	114.93	9.0941
4	0.523	0.639	200	0.577	115.4	9.1311
5	0.639	0.746	166	0.6923	114.92	9.0934
6	0.746	0.857	145	0.7956	115.37	9.1287
7	0.857	0.987	126	0.9136	115.11	9.1085
8	0.987	1.152	109	1.0582	115.35	9.1271
9	1.152	1.393	90	1.2767	114.91	9.0921
10	1.393	1.669	77	1.5077	116.09	9.1861
11	1.669	3.609	57	1.9585	111.64	8.8333
Total:			2332	0.5419	1263.8	100.0

Figura 3. Análisis de leyes de corte de MSDA.

Si hay una porción particular de la distribución en la cual es más importante una estimación precisa, seleccione más leyes de corte en ese rango. Por ejemplo, en los metales preciosos, la mayor parte está contenida en una pequeña proporción de muy alta ley. En ese caso, tiene sentido realizar la estimación por indicador en varias leyes de corte elevadas, dado que la estimación de la cola superior de la distribución es más importante que la de la porción inferior.

Para cada serie de indicadores se calcula el variograma correspondiente. Es necesario modelar los variogramas. MSDA se puede aplicar para calcular y modelar los variogramas MIK con distintas leyes de corte.

Por ejemplo, para una ley de corte = 0.2 se modela un variograma esférico (Figura 4).

Nugget	Sill	Y range	X range	Z range	R1	R2	R3
0.10	0.24	300	175	150	45	0	-5

Figura 4. Variograma esférico para una única ley de corte.

Ahora realice un kriging de indicadores (Figura 5).

Sample Value	$i(x;0.2)$	Kriging Weight	Cumulative Weights
0.05	1	0.12	0.12
0.12	1	0.10	0.22
0.19	1	0.10	0.32
0.25	0	0.21	0.53
0.56	0	0.21	0.74
0.65	0	0.00	0.74
0.75	0	0.15	0.89
0.91	0	0.11	1.00

Figura 5. Indicadores calculados.

La probabilidad de que el bloque sea inferior a 0.2 es $ip(x;0.2) = 32\%$.

Repita el ejercicio para el resto de las leyes de corte.

Probabilidad $<0.5 = ip(x;0.5) = 50\%$

Probabilidad $<0.7 = ip(x;0.7) = 74\%$

Intervalos de probabilidad para la segunda clase: $Prob\{z(x_0) \in (0.2,0.5)\} = 18\%$

Probabilidad por encima de ley de corte: $Prob\{z(x_0) > 0.5\} = 50\%$

La media (estimación tipo E): $Z(x_0) = \sum \text{frecuencia clase} * \text{media clase}$ (Figura 6).

Class	<0.2	0.2-0.5	0.5-0.7	>0.7
Class mean	0.120	0.250	0.605	0.830
Frequency (%)	32	18	24	26

Figura 6. La media de la clase y la frecuencia.

Dado que ahora contamos con un “histograma” de probabilidades para distintas leyes de corte (Figura 7), podemos obtener reservas locales recuperables a diversas leyes de corte (distintas de las empleadas para calcular las probabilidades MIK).

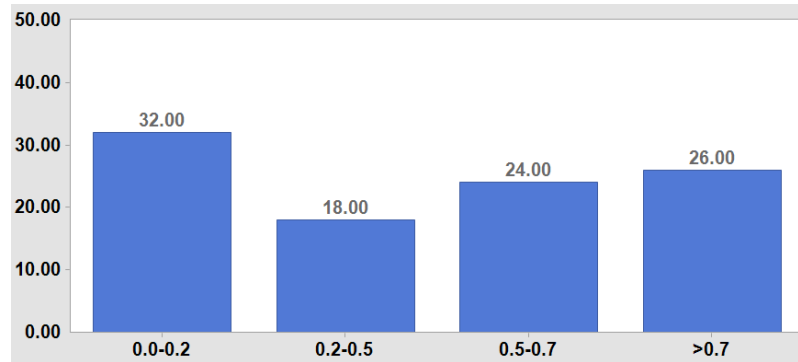


Figura 7. Histograma de probabilidades para distintas leyes de corte.

Por ejemplo (Figura 8):

CU > 0.0 : 100% @ 0.444

CU > 0.4 : 59% @ 0.650

CU > 0.6 : 38% @ 0.758

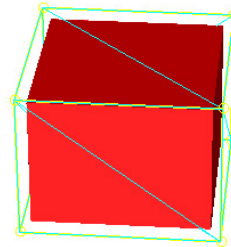
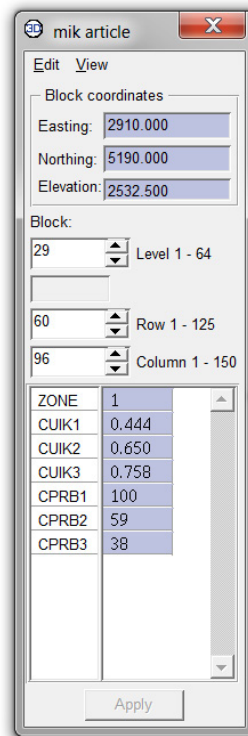


Figura 8. Reservas recuperables locales de un bloque a distintas leyes de corte.

El programa M624MIK de MSBASIS realiza los cálculos MIK mediante el procedimiento Multiple Indicator Kriging (MIK) (PMIK01.DAT), tal como se muestra en la Figura 9.

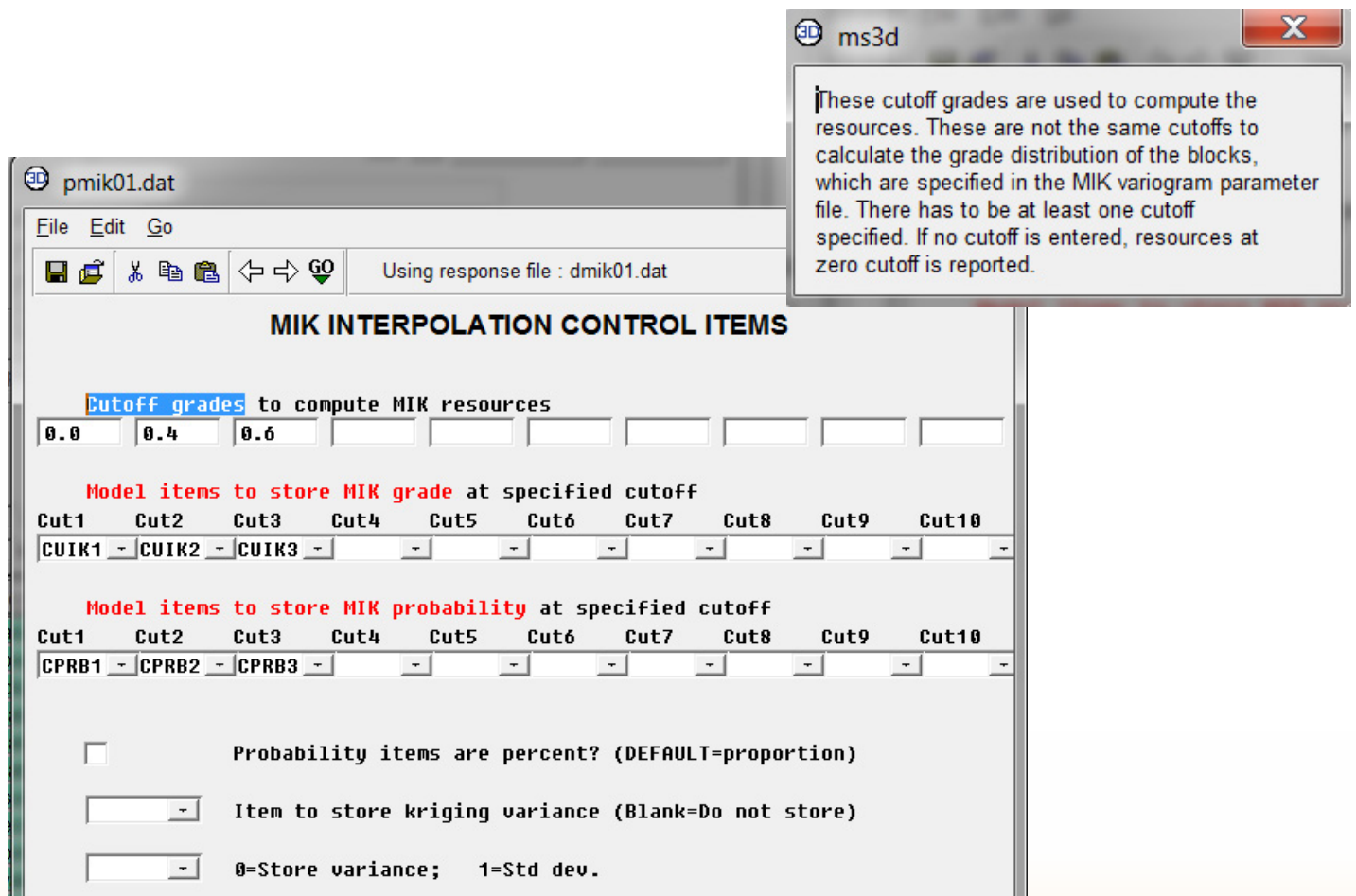


Figura 9. Ejecución de cálculos MIK reales con PMIK01.DAT.

Conclusiones

MIK puede ser un método muy útil para resolver los problemas de las técnicas de interpolación lineal (especialmente en el caso de distribuciones muy sesgadas). Mediante este método se pueden calcular leyes y porcentajes por encima de leyes de corte. MineSight proporciona una serie de herramientas para crear y manejar estos modelos MIK.

El proximo mes, veremos el manejo de modelos MIK en MS3D