



UNIVERSIDAD
PANAMERICANA

Campus Aguascalientes

Alumnos:

- Brian Samir Tiscareño Bisteni
- Christopher Oswaldo Reyes Márquez
- Cristian Aragón Salazar

ID's:

- 0252756
- 0252751
- 0250005

Materia: Optimización y Metaheurísticas

Profesor: Jonás Velasco Álvarez

Introducción

La agricultura de precisión se basa en el manejo eficiente de los recursos agrícolas mediante el análisis detallado de las características del suelo y el clima. En este contexto, la zonificación de campos agrícolas se presenta como una herramienta esencial para identificar sub-regiones dentro de un terreno agrícola que sean homogéneas con respecto a propiedades físicas o químicas específicas del suelo. Este proyecto aborda el problema de generar dichas sub-regiones, minimizando su número mientras se cumple con un nivel de homogeneidad establecido por el agricultor.

El problema consiste en la zonificación de campos agrícolas el cual requiere generar sub-regiones dentro del campo, considerando que dichas sub-regiones sean homogéneas con respecto a una propiedad específica del suelo: física o química. El objetivo es minimizar el número de subregiones para un nivel de homogeneidad dado por el agricultor.

Para solucionar el problema decidimos utilizar un enfoque de búsqueda tabú, es un algoritmo de búsqueda de vecindad iterativo, donde la vecindad cambia dinámicamente. La búsqueda tabú mejora la búsqueda local al evitar puntos en el espacio de búsqueda que ya se visitaron. Al evitar los puntos ya visitados, se evitan los bucles en el espacio de búsqueda y se pueden evitar los óptimos locales.

En este problema contamos con restricciones, la función de homogeneidad debe de tener un valor mayor o igual al del umbral de homogeneidad, al momento de buscar los vecinos con lo que se puede ir formando la solución actual, sólo puede moverse en las posiciones $(j-1, i)$, $(j+1, i)$, $(j, i-1)$ y $(j, i+1)$.

Desarrollo

Definición del Problema

El problema de zonificación consiste en dividir un campo agrícola en sub-regiones homogéneas. Estas subregiones deben cumplir con un umbral de homogeneidad

definido por el parámetro α , que regula la tolerancia a la varianza entre las propiedades del suelo. Un $\alpha=1$ requiere homogeneidad perfecta, mientras que un $\alpha=0$ permite cualquier combinación de celdas. La metodología aplicada considera movimientos únicamente en direcciones cardinales (arriba, abajo, izquierda y derecha) para garantizar continuidad entre las regiones.

Método de Solución

Se implementó la búsqueda tabú como técnica de optimización. Este algoritmo consiste en:

1. Evaluar una solución inicial y calcular su costo asociado.
2. Iterar sobre los vecinos de la solución actual para identificar aquel con menor costo.
3. Actualizar la solución global y la lista tabú, que registra soluciones exploradas para evitar ciclos.
4. Repetir el proceso hasta alcanzar el límite de iteraciones definido.

Funcionamiento del Código

El código desarrollado implementa una solución basada en búsqueda tabú. Cada componente se integra para realizar las siguientes tareas:

1. Lectura de datos

La función ``read_txt_files`` se encarga de leer archivos de texto que contienen representaciones de matrices de datos agrícolas. Estas matrices representan características del suelo en una parcela. El código soporta múltiples archivos y convierte los datos en estructuras de matriz utilizando ``numpy``.

2. Inicialización de la solución

La solución inicial se genera mediante la función ``inicializar_solucion_espectral``, que emplea agrupamiento espectral (``SpectralClustering``) para asignar regiones

iniciales basadas en similitudes entre celdas. Esta etapa proporciona un punto de partida razonable para el proceso de optimización.

3. Evaluación de costo

La función ``calcular_costo`` calcula un valor de costo para una solución dada. Este costo considera:

- La homogeneidad de las regiones en función de la varianza dentro de cada región.
- Penalizaciones basadas en el número de subdivisiones.

Si una solución no cumple con el umbral de homogeneidad definido por ``α``, recibe un costo infinito para descartarla.

4. Generación de vecinos

La función ``obtener_vecindad`` genera soluciones vecinas mediante la modificación de celdas individuales. Las modificaciones se basan en las similitudes con celdas vecinas ortogonales, y un factor de suavizado (``suavizado_factor``) controla la probabilidad de cambio.

5. Búsqueda tabú

La función principal, ``busqueda_tabu``, implementa el proceso iterativo de optimización:

- Se evalúan los vecinos de la solución actual para encontrar la de menor costo.
- Las soluciones exploradas se almacenan en una lista tabú (``tabu_list``) para evitar volver a evaluarlas.
- El proceso continúa hasta alcanzar el número máximo de iteraciones o encontrar una solución óptima.

6. Visualización

La función ``plot_solution`` genera visualizaciones de las soluciones obtenidas. Se crean dos versiones:

- Una con colores difuminados para suavizar las transiciones entre regiones.
- Otra con colores discretos para resaltar claramente las subdivisiones.

Ambas imágenes incluyen contornos de las regiones y se guardan en directorios organizados por valores de α .

7. Exportación de resultados

Los resultados de cada iteración y los mejores resultados por archivo se exportan a un archivo Excel utilizando la función `guardar_resultados_en_excel`. Este formato facilita el análisis comparativo y la documentación de las soluciones obtenidas.

8. Ejecución principal

En el bloque `__main__`, el programa se ejecuta sobre un conjunto de archivos definidos por el usuario, procesando iterativamente cada archivo para valores de α de 0.5, 0.7 y 0.9. Se repite el proceso 30 veces por archivo para asegurar la robustez de los resultados. Finalmente, se visualizan y guardan los mejores resultados de cada ejecución.

Diagrama del flujo lógico:

Leer datos -> 2. Inicializar solución -> 3. Optimizar con búsqueda tabú -> 4. Visualizar resultados -> 5. Exportar análisis.

Adaptación de Datos

Para simplificar el análisis, las características del suelo fueron representadas en una matriz de pesos, donde cada celda contiene un valor que refleja el nivel de homogeneidad de esa región. Este enfoque permite evaluar eficientemente la calidad de las subdivisiones propuestas por el algoritmo.

Resultados

Los experimentos se realizaron tanto en datos reales como en datos sintéticos. Se analizaron diversos escenarios utilizando valores de α representativos (0.5, 0.7 y 0.9)

para evaluar el impacto en los costos y el número de sub-regiones generadas. Algunos de los resultados obtenidos fueron:

- Para el caso MO, con $\alpha=0.5$, el costo promedio fue 2.82 con 13 subdivisiones.
- En el caso PH, con $\alpha=0.9$, el costo promedio fue 0.5 con 5 subdivisiones.
- Los casos sintéticos demostraron comportamientos consistentes, validando la adaptabilidad del algoritmo.

Conclusiones

La zonificación de campos agrícolas mediante búsqueda tabú permite optimizar la segmentación de terrenos, logrando un balance entre la homogeneidad y la minimización de subdivisiones. Este enfoque es adaptable a distintos tipos de propiedades del suelo y valores de umbral de homogeneidad, proporcionando flexibilidad para diferentes necesidades agrícolas.

Los resultados evidencian que el algoritmo es robusto y capaz de manejar datos reales y sintéticos, generando soluciones de calidad en tiempos razonables. Se recomienda explorar su integración con sistemas de agricultura de precisión para maximizar su impacto práctico.

El algoritmo trata de encontrar la mejor relación costo-subdivisiones, por lo que en múltiples casos el costo penaliza fuertemente a la cantidad de subdivisiones o viceversa, específicamente en el caso de P y SB se presentaron ciertas anomalías dado que en P los valores del costo eran muy grande (alrededor de 30), mientras que en el caso SB los valores eran de alrededor 0.4.