
Algoritmos Exactos y Metaheurísticas

Primer Semestre 2025

Universidad Diego Portales
Prof. Víctor Reyes Rodríguez

Objetivos

- Simulated Annealing (SA)
-

Simulated Annealing

- En español: Recocido Simulado.....W T F !!!
 - Se basa en el trabajo Metropolis et al. (1953) en el campo de la termodinámica estadística.
 - Modelamiento del proceso de los cambios energéticos en un sistema de partículas conforme decrece la temperatura, hasta que converge a un estado estable (congelado).
 - Incorpora una estrategia explícita para impedir óptimos locales. (así como el Tabu Search)
-

Idea

- Permitir movimientos a soluciones que empeoren la función objetivo, de forma de poder escapar de los óptimos locales.
 - Permitir movimientos que empeoran la calidad de la función objetivo de acuerdo a una probabilidad asociada a la temperatura del sistema.
 - Al comienzo, la temperatura es alta y cualquier transición entre estados es permitida y soluciones que empeoren la función objetivo pueden ser aceptadas con mayor probabilidad que más tarde cuando la temperatura disminuye.
 - Mientras que las soluciones que mejoran la función objetivo siempre son aceptadas, las soluciones que la empeoran son aceptadas con mayor probabilidad si la temperatura es más alta.
-

Probabilidad de aceptación y temperatura

Esta probabilidad de aceptación sigue la distribución de Boltzmann:

$$P(\text{temperatura}, \text{sol-nueva}, \text{sol-actual}) = e^{\Delta_{obj}/T}$$

con obj: objetivo , T: temperatura, en donde:

$$\Delta_{obj} = -|\text{sol-nueva} - \text{sol-actual}|$$

su valor es siempre negativo, pues implica un empeoramiento de la calidad de las soluciones.

Probabilidad de aceptación y temperatura

- La temperatura (parámetro), determina la probabilidad de aceptación de soluciones que no mejoran la solución actual.
 - A una cierta temperatura, varios intentos de nueva solución son explorados.
 - Cuando se alcanza un estado de equilibrio, la temperatura disminuye gradualmente.
-

Algoritmo general

Algorithm 2.3 Template of simulated annealing algorithm.

Input: Cooling schedule.

$s = s_0$; /* Generation of the initial solution */

$T = T_{max}$; /* Starting temperature */

Repeat

Repeat /* At a fixed temperature */

 Generate a random neighbor s' ;

$\Delta E = f(s') - f(s)$;

If $\Delta E \leq 0$ **Then** $s = s'$ /* Accept the neighbor solution */

Else Accept s' with a probability $e^{\frac{-\Delta E}{T}}$;

Until Equilibrium condition

 /* e.g. a given number of iterations executed at each temperature T */

$T = g(T)$; /* Temperature update */

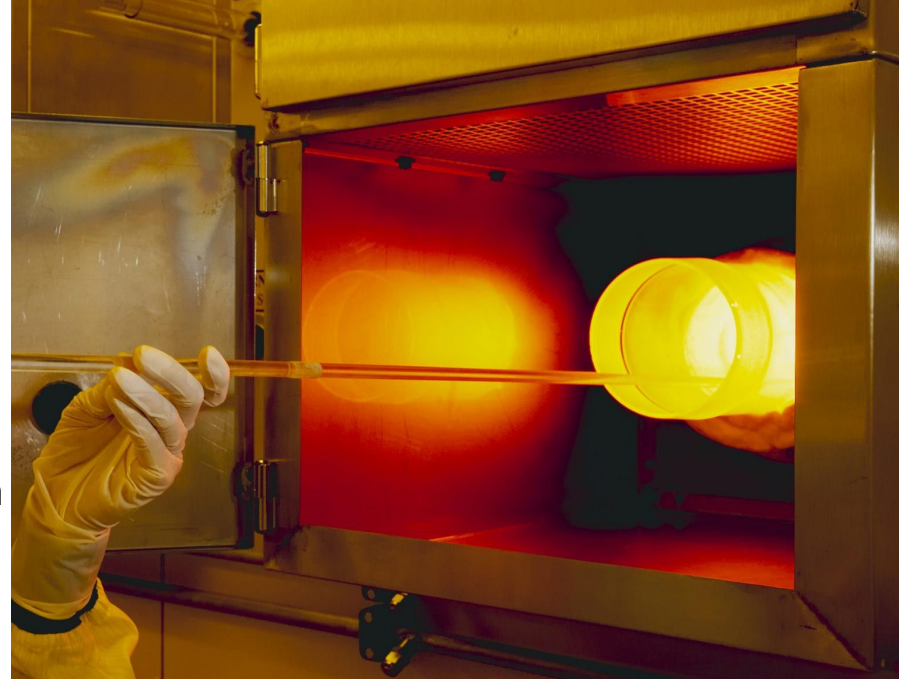
Until Stopping criteria satisfied /* e.g. $T < T_{min}$ */

Output: Best solution found.

Ingredientes

Entonces, los ingredientes para el SA serían:

- Ingredientes de HC (representación, evaluación, operadores de vecindario)
- Función de probabilidad de aceptación (Boltzmann)
- Temperatura inicial y final
- Proceso de enfriamiento: Esto es clave para la eficiencia y efectividad del algoritmo.



Aceptación de movimientos

La probabilidad de aceptación de un movimiento que no mejora la solución actual es:

$$P(\Delta_{obj}, T) > R$$

en donde R es un número aleatorio entre $[0,1]$ generado a partir de una distribución uniforme

- ¿Qué ocurre con temperaturas altas? (pensemos en $T=\infty$)
 - ¿Qué ocurre con temperaturas bajas? (pensemos en $T=0$)
-

Estado de equilibrio

Para alcanzar el estado de equilibrio en cada temperatura, un número suficiente de movimientos deben ser aplicados. Tenemos dos formas:

- Estático: Se determina antes de la búsqueda. En general, una proporción de la vecindad $N(s)$ se genera. A mayor proporción, más caro el algoritmo y mejores resultados se obtienen.
- Adaptativo: Si la solución mejora, no se revisa en la proporción establecida, y pasa directamente al paso de enfriamiento. Otra forma es guardar el mejor valor de la función objetivo (f_h) y peor valor de función objetivo (f_l). Luego el número de iteraciones en la siguiente iteración estará dado por:

$$L = L_B + \lfloor LB \cdot F_- \rfloor$$

con $F_- = 1 - e^{\{-(f_h - f_l)/f_h\}}$ y L_B es el número inicial de iteraciones.

Enfriamiento

En el algoritmo SA tenemos dos condiciones sobre la temperatura:

- $T_i > 0$, para todo i .
- El límite cuando $i \rightarrow \infty$ de T_i debe ser 0.

La temperatura se puede actualizar de varias formas:

- Lineal: $T = T - \beta$, con β constante. (osea $T_i = T_0 - i * \beta$).
 - Geométrica: $T = \alpha T$, con $\alpha \in]0, 1[$. Es la más popular, y se sugiere un α entre 0.5 y 0.99
 - Logarítmico: $T_i = T_0 / \log(i)$. En general es lento en la práctica.
-

Condiciones de término

- Llegar a una temperatura final T_f (es el más popular), tiene que ser baja (por ej 0.01)
 - Tiempo
 - Número de iteraciones
 - Número de iteraciones sin poder mejorar la mejor solución encontrada.
-